

日 本 国 特 許 庁  
JAPAN PATENT OFFICE



別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出 願 年 月 日  
Date of Application:

2001年11月 7日

出 願 番 号  
Application Number:

特願2001-341614

[ST.10/C]:

[JP2001-341614]

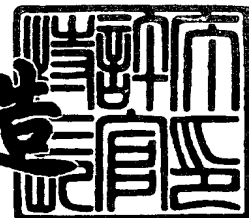
出 願 人  
Applicant(s):

住友電装株式会社  
住友電気工業株式会社

2002年 1月29日

特 許 庁 長 官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

及 川 耕 造



出証番号 出証特2002-3002140

【書類名】 特許願

【整理番号】 413003261

【提出日】 平成13年11月 7日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 G06F 17/60

【発明者】

【住所又は居所】 三重県四日市市西末広町 1 番 1 4 号 住友電装株式会社  
内

【氏名】 井上 拓也

【発明者】

【住所又は居所】 三重県四日市市西末広町 1 番 1 4 号 住友電装株式会社  
内

【氏名】 川辺 仁

【発明者】

【住所又は居所】 三重県四日市市西末広町 1 番 1 4 号 住友電装株式会社  
内

【氏名】 川北 有紀

【発明者】

【住所又は居所】 大阪市此花区島屋 1 丁目 1 番 3 号 住友電気工業株式会  
社内

【氏名】 大内 孝司

【発明者】

【住所又は居所】 大阪市此花区島屋 1 丁目 1 番 3 号 住友電気工業株式会  
社内

【氏名】 古庄 勝

【特許出願人】

【識別番号】 000183406

【氏名又は名称】 住友電装株式会社

【特許出願人】

【識別番号】 000002130

【氏名又は名称】 住友電気工業株式会社

【代理人】

【識別番号】 100089233

【弁理士】

【氏名又は名称】 吉田 茂明

【選任した代理人】

【識別番号】 100088672

【弁理士】

【氏名又は名称】 吉竹 英俊

【選任した代理人】

【識別番号】 100088845

【弁理士】

【氏名又は名称】 有田 貴弘

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 012852

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9005280

【ブルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 ワイヤーハーネス設計方法及びプログラム

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 導体線を絶縁層にて被覆してなる電線を単数または複数本束ねて、所望の適用対象に配策するワイヤーハーネスを設計するワイヤーハーネス設計方法であって、

前記適用対象の全体的な設計構想を行う適用対象設計構想工程と、

前記適用対象に適合するように前記ワイヤーハーネスの設計構想を行うワイヤーハーネス設計構想工程と、

前記ワイヤーハーネス設計構想工程で構想された前記ワイヤーハーネスが、所定の保護管内を貫通し、且つ前記保護管とは異なる外部構造体に固定される場合に、前記外部構造体の動作に起因した前記ワイヤーハーネスの屈曲による断線に至るまでの屈曲寿命を有限要素法に従って予測する屈曲寿命予測工程とを備え、

前記屈曲寿命予測工程は、

前記ワイヤーハーネス、前記保護管及び前記外部構造体のそれぞれの初期形状を決定する初期形状決定工程と、

前記外部構造体の動作を仮想して前記ワイヤーハーネス及び前記保護管の伸屈変形を解析し、前記ワイヤーハーネスの曲率変化を計算する伸屈動作解析工程と

前記伸屈動作解析工程で得られた曲率変化に基づいて、予測対象となる前記ワイヤーハーネスの歪み変化量を算出する歪み変化量算出工程と、

前記歪み変化量算出工程で算出された前記歪み変化量により予め設定された寿命予測曲線に照合して、前記ワイヤーハーネスの屈曲寿命を予測する照合工程とを備え、

前記初期形状決定工程では、前記ワイヤーハーネスの初期形状を、前記ワイヤーハーネスの中心線の初期形状に代替させ、前記保護管の初期形状を、前記保護管の前記ワイヤーハーネスに対する余裕空間の余裕寸法のみを内径とする仮想パイプの初期形状に代替させ、当該仮想パイプの両端部において前記ワイヤーハー

ネスの中心線が拘束されないように前記ワイヤーハーネスの中心線の初期形状を決定することを特徴とするワイヤーハーネス設計方法。

【請求項 2】 導体線を絶縁層にて被覆してなる電線を単数または複数本束ねて、所望の適用対象に配策するワイヤーハーネスを設計するワイヤーハーネス設計方法であって、

前記適用対象の全体的な設計構想を行う適用対象設計構想工程と、

前記適用対象に適合するように前記ワイヤーハーネスの設計構想を行うワイヤーハーネス設計構想工程と、

前記ワイヤーハーネス設計構想工程で構想された前記ワイヤーハーネスの屈曲による断線に至るまでの屈曲寿命を有限要素法に従って予測する屈曲寿命予測工程と

を備え、

前記屈曲寿命予測工程は、

前記ワイヤーハーネスの初期形状を決定する初期形状決定工程と、

前記ワイヤーハーネスの伸屈変形を解析し、前記ワイヤーハーネスの曲率変化を計算する伸屈動作解析工程と、

前記伸屈動作解析工程で得られた曲率変化に基づいて、予測対象となる前記ワイヤーハーネスの歪み変化量を算出する歪み変化量算出工程と、

前記歪み変化量算出工程で算出された前記歪み変化量により予め設定された寿命予測曲線に照合して、前記ワイヤーハーネスの屈曲寿命を予測する照合工程とを備えるワイヤーハーネス設計方法。

【請求項 3】 請求項 1 または請求項 2 に記載のワイヤーハーネス設計方法であって、

前記適用対象設計構想工程及び前記ワイヤーハーネス設計構想工程を、前記適用対象を設計構想する適用対象設計局が実行し、

前記屈曲寿命予測工程を、前記ワイヤーハーネスを製造する電線製造局または前記適用対象設計局が実行することを特徴とするワイヤーハーネス設計方法。

【請求項 4】 請求項 1 ないし請求項 3 のいずれかに記載のワイヤーハーネス設計方法であって、

前記屈曲寿命予測工程の前記伸屈動作解析工程において、前記電線束の曲率変化を、前記電線束の中心線の曲率変化に代替させることを特徴とするワイヤーハーネス設計方法。

【請求項 5】 請求項 1 ないし請求項 4 のいずれかに記載のワイヤーハーネス設計方法であって、

前記屈曲寿命予測工程において、前記寿命予測曲線が、1 本の単線について、複数の歪み変化量について前記単線を繰り返し曲げを施して、当該単線の断線に至るまでの屈曲回数を実際に測定することにより歪み変化量と前記屈曲回数との相関関係を求めたものであり、

前記屈曲寿命予測工程の前記歪み変化量算出工程において、前記導体線と前記絶縁層の各曲げ弾性係数を断面積比率によって重み付け平均した 1 本の仮想的線部材を想定し、当該仮想的線部材を 1 本の前記電線として、前記仮想的線部材の屈曲を受ける領域内で最も大きく屈曲変化する位置において最も屈曲した状態のいずれか単一の電線の曲げ半径を  $R_1$  とし、最も伸長した状態の前記単一の電線の曲げ半径を  $R_2$  とし、前記  $R_1$  と前記  $R_2$  の差が最も大きいいずれか単一の電線の半径を  $r$  とし、次式により前記歪み変化量 ( $\Delta \varepsilon$ ) を算出することを特徴とするワイヤーハーネス設計方法。

【数 1】

$$\Delta \varepsilon = r \cdot (1/R_1 - 1/R_2)$$

【請求項 6】 請求項 1 ないし請求項 5 のいずれかに記載のワイヤーハーネス設計方法であって、

前記屈曲寿命予測工程の前記初期形状決定工程において、前記ワイヤーハーネスの初期形状が、少なくとも当該ワイヤーハーネスの径に基づいて決定され、

前記ワイヤーハーネスの径が、当該ワイヤーハーネスを構成する複数種類の電線の径及び個数に基づいて所定の演算式により演算されるワイヤーハーネス設計方法。

【請求項 7】 請求項 1 に記載のワイヤーハーネス設計方法であって、

前記屈曲寿命予測工程の前記初期形状決定工程において、前記余裕寸法が、前記保護管の内径から前記ワイヤーハーネスの径を減算して求められ、

前記ワイヤーハーネスの径が、当該ワイヤーハーネスを構成する複数種類の電線の径及び個数に基づいて所定の演算式により演算されるワイヤーハーネス設計方法。

【請求項 8】 請求項 7 に記載のワイヤーハーネス設計方法であって、

前記ワイヤーハーネスを構成する各電線の径を  $d_v$ 、当該径  $d_v$  の各電線のそれぞれの個数を  $N_v$ 、所定の係数を  $a_i$  とした場合に、前記ワイヤーハーネスの径  $D_x$  が、次式によって演算されることを特徴とするワイヤーハーネス設計方法。

【数 2】

$$D_0 = \left\{ \sum_{v=1}^m (d_v^2 \times N_v) \right\}^{1/2}$$

$$D_x = \sum_{i=1}^n (a_i \times D_0^i)$$

【請求項 9】 請求項 1 ないし請求項 8 のいずれかに記載のワイヤーハーネス設計方法中の前記屈曲寿命予測工程をコンピュータ上で実現するために、当該屈曲寿命予測工程内の各工程をコンピュータに実行させるためのプログラム。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

この発明は、所望の適用対象に配策するためのワイヤーハーネスを設計するワイヤーハーネス設計方法及びそれに関連する技術に関する。

【0002】

【従来の技術】

従来、例えば自動車のワイヤーハーネスは、自動車の製造メーカー（以下「製造局」と称す）側で自動車の成立性等を考慮し、配策検討した上での試作品での性能評価を行い、製品化してきた。

【0003】

この場合、初期設計の段階から、ワイヤーハーネスの屈曲性能を完全に考慮す

ることは困難である。したがって、従来では、初期設計を行った段階で、試作品を制作し、この試作品に対する評価試験で問題が発覚した時点で、設計変更を繰り返しながら作り込みを行っている。

【0004】

具体的に、図23は従来のワイヤーハーネスに関する設計手順を示している。

【0005】

まずステップT1において、車両ボディの全体的な設計構想を行う。

【0006】

次のステップT2において、車両ボディに適合するように、ワイヤーハーネス（図23では「W/H」と表記している）の設計構想を行う。

【0007】

そして、ステップT3において、ステップT2で構想されたワイヤーハーネスの設計に基づいて、ワイヤーハーネスを試作してみる。

【0008】

続いて、ステップT4で、試作されたワイヤーハーネスを実際に繰り返し屈曲させ、屈曲評価試験を実施する。そして、その屈曲評価試験結果を検討し（ステップT5）、要求される屈曲耐性が得られない場合には、ステップT3の試作を再度行い、屈曲評価試験（ステップT4）及びその結果検討（ステップT5）を、要求される屈曲耐性が得られるまで繰り返し行って、最終的に肯定的な検討結果が得られた段階で、量産を開始する（ステップT6）。

【0009】

【発明が解決しようとする課題】

近年、自動車業界全体において、開発期間の短縮や、試作品制作を省略したいという要請があり、従来のような試作品の制作（ステップT3）及び屈曲評価試験（ステップT4、T5）を行う仕事の進め方を改善したいという要望がある。

【0010】

そこで、この発明の課題は、自動車のワイヤーハーネスの設計に関して、試作品の制作及び屈曲評価試験を行わずに済むことで、自動車の開発期間を短縮化し得るワイヤーハーネス設計方法及びそれに関連する技術を提供することにある。



## 【 0 0 1 1 】

## 【課題を解決するための手段】

上記課題を解決すべく、請求項 1 に記載の発明は、導体線を絶縁層にて被覆してなる電線を単数または複数本束ねて、所望の適用対象に配策するワイヤーハーネスを設計するワイヤーハーネス設計方法であって、前記適用対象の全体的な設計構想を行う適用対象設計構想工程と、前記適用対象に適合するように前記ワイヤーハーネスの設計構想を行うワイヤーハーネス設計構想工程と、前記ワイヤーハーネス設計構想工程で構想された前記ワイヤーハーネスが、所定の保護管内を貫通し、且つ前記保護管とは異なる外部構造体に固定される場合に、前記外部構造体の動作に起因した前記ワイヤーハーネスの屈曲による断線に至るまでの屈曲寿命を有限要素法に従って予測する屈曲寿命予測工程とを備え、前記屈曲寿命予測工程は、前記ワイヤーハーネス、前記保護管及び前記外部構造体のそれぞれの初期形状を決定する初期形状決定工程と、前記外部構造体の動作を仮想して前記ワイヤーハーネス及び前記保護管の伸屈変形を解析し、前記ワイヤーハーネスの曲率変化を計算する伸屈動作解析工程と、前記伸屈動作解析工程で得られた曲率変化に基づいて、予測対象となる前記ワイヤーハーネスの歪み変化量を算出する歪み変化量算出工程と、前記歪み変化量算出工程で算出された前記歪み変化量により予め設定された寿命予測曲線に照合して、前記ワイヤーハーネスの屈曲寿命を予測する照合工程とを備え、前記初期形状決定工程では、前記ワイヤーハーネスの初期形状を、前記ワイヤーハーネスの中心線の初期形状に代替させ、前記保護管の初期形状を、前記保護管の前記ワイヤーハーネスに対する余裕空間の余裕寸法のみを内径とする仮想パイプの初期形状に代替させ、当該仮想パイプの両端部において前記ワイヤーハーネスの中心線が拘束されないように前記ワイヤーハーネスの中心線の初期形状を決定する。

## 【 0 0 1 2 】

請求項 2 に記載の発明は、導体線を絶縁層にて被覆してなる電線を単数または複数本束ねて、所望の適用対象に配策するワイヤーハーネスを設計するワイヤーハーネス設計方法であって、前記適用対象の全体的な設計構想を行う適用対象設計構想工程と、前記適用対象に適合するように前記ワイヤーハーネスの設計構想

を行うワイヤーハーネス設計構想工程と、前記ワイヤーハーネス設計構想工程で構想された前記ワイヤーハーネスの屈曲による断線に至るまでの屈曲寿命を有限要素法に従って予測する屈曲寿命予測工程とを備え、前記屈曲寿命予測工程は、前記ワイヤーハーネスの初期形状を決定する初期形状決定工程と、前記ワイヤーハーネスの伸屈変形を解析し、前記ワイヤーハーネスの曲率変化を計算する伸屈動作解析工程と、前記伸屈動作解析工程で得られた曲率変化に基づいて、予測対象となる前記ワイヤーハーネスの歪み変化量を算出する歪み変化量算出工程と、前記歪み変化量算出工程で算出された前記歪み変化量により予め設定された寿命予測曲線に照合して、前記ワイヤーハーネスの屈曲寿命を予測する照合工程とを備える。

## 【 0 0 1 3 】

請求項 3 に記載の発明は、請求項 1 に記載のワイヤーハーネス設計方法であって、前記適用対象設計構想工程及び前記ワイヤーハーネス設計構想工程を、前記適用対象を設計構想する適用対象設計局が実行し、前記屈曲寿命予測工程を、前記ワイヤーハーネスを製造する電線製造局または前記適用対象設計局が実行する。

## 【 0 0 1 4 】

請求項 4 に記載の発明は、請求項 1 または請求項 3 に記載のワイヤーハーネス設計方法であって、前記屈曲寿命予測工程の前記伸屈動作解析工程において、前記電線束の曲率変化を、前記電線束の中心線の曲率変化に代替させる。

## 【 0 0 1 5 】

請求項 5 に記載の発明は、請求項 1 ないし請求項 4 のいずれかに記載のワイヤーハーネス設計方法であって、前記屈曲寿命予測工程において、前記寿命予測曲線が、1 本の単線について、複数の歪み変化量について前記単線を繰り返し曲げを施して、当該単線の断線に至るまでの屈曲回数を実際に測定することにより歪み変化量と前記屈曲回数との相関関係を求めたものであり、前記屈曲寿命予測工程の前記歪み変化量算出工程において、前記導体線と前記絶縁層の各曲げ弾性係数を断面積比率によって重み付け平均した 1 本の仮想的線部材を想定し、当該仮想的線部材を 1 本の前記電線として、前記仮想的線部材の屈曲を受ける領域内で

最も大きく屈曲変化する位置において最も屈曲した状態のいずれか単一の電線の曲げ半径を  $R_1$  とし、最も伸長した状態の前記単一の電線の曲げ半径を  $R_2$  とし、前記  $R_1$  と前記  $R_2$  の差が最も大きいいずれか単一の電線の半径を  $r$  とし、次式により前記歪み変化量 ( $\Delta \varepsilon$ ) を算出する。

【0016】

請求項6に記載の発明は、請求項1ないし請求項5のいずれかに記載のワイヤーハーネス設計方法であって、前記屈曲寿命予測工程の前記初期形状決定工程において、前記ワイヤーハーネスの初期形状が、少なくとも当該ワイヤーハーネスの径に基づいて決定され、前記ワイヤーハーネスの径が、当該ワイヤーハーネスを構成する複数種類の電線の径及び個数に基づいて所定の演算式により演算される。

【0017】

請求項7に記載の発明は、請求項1に記載のワイヤーハーネス設計方法であって、前記屈曲寿命予測工程の前記初期形状決定工程において、前記余裕寸法が、前記保護管の内径から前記ワイヤーハーネスの径を減算して求められ、前記ワイヤーハーネスの径が、当該ワイヤーハーネスを構成する複数種類の電線の径及び個数に基づいて所定の演算式により演算される。

【0018】

請求項8に記載の発明は、請求項7に記載のワイヤーハーネス設計方法であって、前記ワイヤーハーネスを構成する各電線の径を  $d_v$ 、当該径  $d_v$  の各電線のそれぞれの個数を  $N_v$ 、所定の係数を  $a_i$  とした場合に、前記ワイヤーハーネスの径  $D_x$  が、次式によって演算される。

【0019】

【数3】

$$D_0 = \left\{ \sum_{v=1}^m (d_v^2 \times N_v) \right\}^{1/2}$$

$$D_x = \sum_{i=1}^n (a_i \times D_0^i)$$

【0020】

請求項 9 に記載の発明は、請求項 1 ないし請求項 8 のいずれかに記載のワイヤーハーネス設計方法中の前記屈曲寿命予測工程をコンピュータ上で実現するために、当該屈曲寿命予測工程内の各工程をコンピュータに実行させるためのプログラムである。

#### 【 0 0 2 1 】

##### 【発明の実施の形態】

##### {一の実施の形態}

図 1 は、この発明の一の実施の形態に係る電線束（ワイヤーハーネス）の設計方法を示している。このワイヤーハーネス設計方法は、ワイヤーハーネスを配策適用する対象（適用対象）に配策するための電線束の開発設計の初期段階において、コンピュータに予め格納されたソフトウェアプログラムで定義された手順に従って、設計された電線束の屈曲寿命予測を素早く実行する。尚、以下の説明では、電線束の適用対象として車両ボディを例に挙げて説明する。

#### 【 0 0 2 2 】

まずステップ U 1 において電線束の適用対象としての車両ボディの全体的な設計構想を行う（適用対象設計構想工程）。

#### 【 0 0 2 3 】

次のステップ U 2 において、車両ボディ（適用対象）に適合するように、電線束（ワイヤーハーネス：図 1 では「W/H」と表記している）の設計構想を行う（ワイヤーハーネス設計構想工程）。

#### 【 0 0 2 4 】

そして、ステップ U 3 において、ステップ U 2 で構想された電線束の設計に基づいて、CAE（コンピュータ・エイディッド・エンジニアリング）の手法を用いて電線束の屈曲寿命予測をシミュレーションし、そのシミュレーション結果を即座にステップ U 1（車両ボディ設計構想）及びステップ U 2（電線束設計構想）にフィードバックする。

#### 【 0 0 2 5 】

かかるステップ U 1 ～ U 3 の工程を、要求される電線束の屈曲耐性が得られるまで繰り返し行って、最終的に肯定的な検討結果が得られた段階で、量産を開始

する（ステップU4）。

【0026】

これにより、従来のように電線束（ワイヤーハーネス）についての試作品の制作（図23中のステップT3）及び屈曲評価試験（図23中のステップT4）といった多大な時間を要していた工程を省略することができる。また、コンピュータを用いて容易に屈曲寿命予測を行うことができるので、従来では、電線束の製造メーカー（電線製造局）のみが当該電線束のステップU3である屈曲寿命予測を行い得たのに対して、この実施の形態の場合だと、ステップU3について、その電線束を応用して使用する適用対象の設計製造メーカー（適用対象設計局）内だけでも、コンピュータを用いて容易に電線束の屈曲寿命予測を行うことができる。したがって、設計早期の段階で信頼性を十分に確保しながら開発期間の短縮を図ることが可能となる。

【0027】

ここで、ステップU3のCAEでの電線束の屈曲寿命予測方法について詳述する。

【0028】

図2は、一例として、設計対象となる電線束（ワイヤーハーネス）1及びグロメット（保護管）2を示す側面図である。そして、上記のステップU3の例として、自動車等のドア3（図2中の符号Aの領域）の所定位置（ドアパネル）4とボディ5（図2中の符号Cの領域）の所定位置（ボディパネル）6との間Bのヒンジ部付近に設置されるグロメット2内を電線束1が貫通する場合に、ドア3の開閉動作に伴って電線束1が伸屈変化する際の電線束1の屈曲寿命を予測する場合を説明する。尚、この明細書では、ドア3、ドアパネル4、ボディ5及びボディパネル6を外部構造体と総称する。

【0029】

本発明者等は、電線束1の屈曲寿命を支配する因子について鋭意検討を行った。その結果、特に低温下においては、各電線の絶縁層の疲労破壊によりクラックが生じると、そのクラックが生じた部分の導体部に局所的な応力がかかりやすくなることから、電線束1の各電線中の断線は導体部を被覆する絶縁層の疲労破壊

に主として支配されるものであり、絶縁層の疲労破壊はその表面歪みの変化量と強い相関を有することを究明した。すなわち、電線束1の屈曲寿命と曲げ変化時の絶縁層表面の歪み変化量との間に強い相関関係が存在するという知見を得たのである。ただし、電線束1が実際に自動車のドア3等に設置される場合には、S字形やU字形等の様々な形状で設置される。そして、その形状によって、電線束1への応力のかかり方も変化する。しかしながら、電線束1が様々な形状で設置されるにも拘わらず、電線束1の屈曲寿命と歪み変化量との間の相関関係は電線束1の形状には依存せず、幅広い屈曲形状において一定であるとの知見も得た。

#### 【0030】

したがって、電線束1の屈曲寿命と歪み変化量との間の相関関係を予め実験的に求めておけば、様々な製品条件下の電線束1についてその歪み変化量を解析するだけで電線束等の屈曲寿命を予測することができることとなる。

#### 【0031】

そして、電線束1についてその歪み変化量を解析する場合に、有限要素法によりコンピュータを用いることが効率的であるが、電線束1が複数の電線を含んでおり、またグロメット2の形状が複雑であるため、これらの形状及び物性（曲げ剛性）を厳密にモデリングして有限要素法で解析を行うと、コンピュータの計算処理負荷が多大なものになってしまう。そこで、この発明は、各構造体の有限要素モデルを単純化してコンピュータの計算処理負荷を低減しながらも、且つ屈曲寿命の予測精度を高く保持し得る屈曲寿命予測方法を提供するものである。

#### 【0032】

具体的に、この屈曲寿命の予測方法は、有限要素法を用いた電線束1の曲率値を求める曲率値計算工程（図3）と、得られた電線束1の曲率値に基づいて電線束1の予想寿命を得る予想寿命出力工程とを備える。以下、各工程について詳述する。

#### 【0033】

##### <1. 曲率値計算工程>

曲率値計算工程は、有限要素法を用いたコンピュータでの計算処理により、電線束1を模した仮想単線11（図16参照）のドア開状態とドア閉状態でのそれ

それぞれの曲率半径 $R$ を求める工程であり、図3の如く、コンピュータにパラメータを入力するパラメータ入力工程（ステップS01）と、有限要素法の計算に必要な各構造体の初期形状を決定する初期形状決定工程（ステップS02, S04）と、ドア3の開閉動作に伴ってグロメット2内の電線束1が伸屈変化する際の動作解析を行う伸屈動作解析工程（ステップS03, S05～S08）とを備える。

#### 【0034】

##### 1-1 パラメータ入力工程

パラメータ入力工程では、まずステップS01において、後工程での解析処理に必要なパラメータを入力する。

#### 【0035】

具体的なパラメータの項目としては、電線束1を固定する固定点の取付座標と、電線束1の属性情報と、グロメット2の属性情報と、ドア3の開閉角度と、温度条件とがある。

#### 【0036】

入力パラメータとして入力すべき電線束1の固定点の取付座標としては、例えば図4または図5の如く、自動車のドア3のドアパネル4及びボディ5のボディパネル6の各座標位置を特定するとともに、このドア3及びボディ5のそれぞれにクランプT等により電線束1が固定される座標位置を特定してそれぞれ入力を行う。この場合の入力値としては、例えば図4のようにドア3の閉状態での取付座標を入力しておけば、図5に示したドア開状態での電線束1の形状は、ドア3の開状態への変化に伴って計算により求めることができるため、ステップS01において入力する必要がない。

#### 【0037】

入力パラメータとして入力すべき電線束1の属性情報としては、電線束1を構成する電線の種類（製品番号）、当該電線内の導体線の径、当該導体線の本数及び各導体線及び各絶縁層のそれぞれの曲げ剛性の値等を特定して入力を行う。

#### 【0038】

グロメット2の属性情報としては、管状のグロメット2の貫通孔の内径及びグ

ロメット 2 の長さ等を特定して入力を行う。ここで、グロメット 2 の剛性については入力の必要がない。この理由は次の通りである。

## 【 0 0 3 9 】

この一例における C A E での電線束 1 の屈曲寿命予測方法は、文字通りに当該電線束 1 の屈曲寿命を予測するだけでよいため、グロメット 2 の屈曲寿命は問題にする必要がない。また、この一の実施の形態では、自動車の低温下での使用における予測値を求めることが目的となっているが、常温や低温といった温度変化に伴うグロメット 2 の曲げ剛性の変化は、使用される材質の違いに起因して、電線束 1 の温度変化に伴う曲げ剛性の変化に比べると無視できることを実験により明らかにした。したがって、電線束 1 が低温下において硬化したときには、グロメット 2 の形状によって電線束 1 の形状が束縛されることはほとんどなく、むしろ電線束 1 の形状によってグロメット 2 の形状が束縛されることになる。このことから、グロメット 2 の形状を把握しさえすれば、グロメット 2 の温度変化に伴う曲げ剛性のパラメータは要求されず、故に、グロメット 2 の剛性を無視しても、電線束 1 の屈曲寿命を十分に予測することができることから、グロメット 2 の曲げ剛性等の物性パラメータをこのステップ S 0 1 で省略しても、電線束 1 の屈曲寿命の予測値の精度が低下することはない。

## 【 0 0 4 0 】

ドア 3 の開閉角度は、ドア 3 が閉状態のときの当該ドア 3 のボディ 5 に対する相対角度と、ドア 3 が開状態のときの当該ドア 3 のボディ 5 に対する相対角度とを特定して入力する。

## 【 0 0 4 1 】

また、電線束 1 については、常温や低温（冬季での冷温に相当する温度を含む）等の温度の変化に応じて曲げ剛性の値が変化するため、温度のパラメータをも入力しておく。

## 【 0 0 4 2 】

ここで入力された各パラメータは、プロシージャファイルと呼ばれるデータファイルとしてハードディスクドライブ等の所定の記憶装置内に格納される。

## 【 0 0 4 3 】



かかるパラメータ入力工程の後の工程は、コンピュータのハードディスク内に予め格納されたソフトウェアプログラムに規律された手順で、CPUが動作することにより実行される。

【0044】

#### 1-2 仮想単線径計算工程

この実施の形態では、後述のように、複数の電線から構成される電線束を1本の仮想単線11（図16参照）にモデリング化して屈曲寿命予測を行うことになる。そこで、ステップS01Aにおいて、そのモデリングすべき仮想単線11の径を、パラメータ入力工程（ステップS01）で入力された電線の種類（製品番号）、当該電線内の導体線の径及び当該電線の本数の情報に基づいて決定する。

【0045】

具体的には、コンピュータのハードディスク内に、各電線の被覆部をも含めた外径（仕上げ外径）のリストが予め格納されており、パラメータ入力工程（ステップS01）で入力された電線の種類（製品番号）に応じて、それぞれの仕上げ外径を読み出す。ここで、個々電線の種類を変数 $v$ （ $=1 \sim m$ ）で表すこととし、その種類 $v$ の電線の仕上げ外径を $d_v$ で表すこととする。また、パラメータ入力工程（ステップS01）で入力された各電線 $v$ の使用本数を $N_v$ とする。このとき、電線束を単純モデル化するための仮想単線の径 $D_x$ は、次の多次元近似式である（1）式により求める。

【0046】

【数4】

$$D_0 = \left\{ \sum_{v=1}^m (d_v^2 \times N_v) \right\}^{1/2}$$

$$D_x = \sum_{i=1}^n (a_i \times D_0^i) \quad \cdots (1)$$

【0047】

ここで、（1）式中の $a_i$ （ただし $i=0, 1, 2, \dots, n$ ）は、経験則によって導き出される固有の係数であり、かかる（1）式はコンピュータのハードディスク内に予め格納されるソフトウェアプログラムによって定義付けられている

## 【0048】

このように、電線束をモデリング化する際、操作者は、パラメータ入力工程（ステップS01）において、電線の種類及び本数を入力するだけで、仮想単線の径をコンピュータに自動的に計算させることができるため、ステップU3について、その電線束を応用して使用する適用対象の設計製造メーカー（適用対象設計局）内だけでも、コンピュータを用いて容易に電線束の屈曲寿命予測を行うことができる。

## 【0049】

また、かかる仮想単線径計算工程と併せて、予めハードディスクに格納された電線束1内の各構造体としての個々の電線 $v$ （導体線及び絶縁層）の曲げ剛性のパラメータを読み出しておく。この曲げ剛性のパラメータは、初期形状、ドア3の開状態及び閉状態のそれぞれにおいて、電線束1の形状を正確にモデリングするために使用するものである。尚、この実施の形態では、後述の通り、電線束1については単純な1本の仮想単線11（図1.6参照）を想定してその形状をモデリングし、そのモデリング形状に基づいて、各電線（被覆部となる絶縁層を含む）の表面の屈曲寿命を予測するようになっているが、例えば繰り返し屈曲寿命予測を行う場合などにおいて、前回の屈曲寿命予測より仮想単線11の径及び曲げ剛性（曲げ弾性）が予め解っている場合は、当該仮想単線11の径及び曲げ剛性等のパラメータを直接に入力するようにしてもよい。

## 【0050】

## 1-3 初期形状決定工程

次段の初期形状決定工程では、仮想パイプ9と、電線束1を単純モデル化した仮想単線11（図1.6参照）との初期形状を決定して有限要素モデルを作成する。

## 【0051】

まずステップS02において、仮想パイプ9と仮想単線11とを仮想空間上で直線状に配置してこれらの有限要素モデルを作成する。

## 【0052】

この場合、まず図6に示したように、グロメット2の内径寸法 $D_1$ の貫通孔7内に、外径 $D_2$ の太さを有する電線束1が貫通している現実的なモデル（以下「現実モデル」と称す）を作成しておく。この場合、電線束1に対するグロメット2の余裕空間の余裕寸法は、グロメット2の内径寸法 $D_1$ から電線束1の外径 $D_2$ を減算した $(D_1 - D_2)$ となる。

## 【0053】

ここで、電線束1の初期形状を決定する段階では、その太さ（外径 $D_2$ ）を考慮すると形状決定の作業が複雑になるため、上記の現実モデル以外に、図7のように電線束1の中心軸としての太さを持たない中心線8のみを考慮した仮想モデルを決定しておく。

## 【0054】

この仮想モデルの場合、電線束1の外表面とグロメット2の内周面との離間距離は現実の寸法に近い寸法を適用することが望ましいことはいうまでもない。そこで、上述のステップS01Aで求めた $D_x$ （（1）式参照）を近似的に電線束の径 $D_2$ として採用し、図7のように、太さを持たない中心線8から現実の離間距離 $\{(D_1 - D_2) / 2\}$ と同じ寸法だけ離間した仮想パイプ9を想定しておく。仮想パイプ9の内径は $(D_1 - D_2)$ である。この値は、上記した余裕空間の余裕寸法に一致している。尚、このステップS02での現実モデル及び仮想モデルでは、電線束1の中心線8が仮想パイプ9の中心線と一致するように配置しておく。ここで決定された直線状の仮想パイプ9の形状を図8に示す。図8中の符号 $L_1$ はこの屈曲寿命予測方法の解析計算処理において使用する電線束1（及びその中心線8）の長さ寸法を示しており、少なくともドアの開閉動作によって変形する可能性のある部分の長さ以上に設定される任意の値が適用される。また、符号 $L_2$ は実際のグロメット2の長さ寸法であり、ここでは仮想パイプ9の長さ寸法として図示される。

## 【0055】

そして、現実モデル及び仮想モデルのそれぞれについて、所定の細かさの有限要素網目を設定して要素分割を行っておく。尚、仮想パイプ9の内部での電線束1の中心線8の形状は、電線束1の中心線8の屈曲寿命の予測を行う上で極めて

重要である。このため、要素分割を行う際には、仮想パイプ 9 の外部で設定する電線束 1 の中心線 8 の有限要素網目よりも仮想パイプ 9 内部の電線束 1 の中心線 8 の有限要素網目を細かく設定しておく。

## 【 0 0 5 6 】

尚、かかるステップ S 0 2 での作業は、ステップ S 0 1 で入力されたパラメータに基づいてコンピュータの CPU において自動的に計算処理される。

## 【 0 0 5 7 】

次に、ステップ S 0 3 において、図 9 に示したように、ドア 3 のドアパネル 4 及びボディ 5 のボディパネル 6 の実状に対応した座標位置から、これらの有限要素モデルを作成する。ここでは、ドアパネル 4 及びボディパネル 6 の初期形状として、例えばドア閉状態での形状を適用しておく。また、ドア 3 及びボディ 5 のそれぞれにおける電線束 1 のクランプ T の位置を特定しておく。ここで決定したドアパネル 4 及びボディパネル 6 の座標位置は、グロメット 2 及び仮想パイプ 9 の取付位置（グロメット位置）を決定付けるものである。このステップ S 0 3 での作業は、ステップ S 0 1 で入力されたパラメータに基づいてコンピュータの CPU において自動的に計算処理される。

## 【 0 0 5 8 】

続くステップ S 0 4 では、仮想パイプ 9 及び電線束 1 の中心線 8 のモデルでの初期形状を計算する。具体的には、上記ステップ S 0 2 で作成した仮想パイプ 9 及び電線束 1 を、上記ステップ S 0 3 で作成したドアパネル 4 及びボディパネル 6 の座標位置に対応するよう変形し、図 1 0 に示したように仮想パイプ 9 及び電線束 1 の中心線 8 の初期形状を決定する。

## 【 0 0 5 9 】

ここで、電線束 1 の中心線 8 の初期形状の決定方法についてさらに詳しく説明する。

## 【 0 0 6 0 】

例えば、図 1 1 及び図 1 2 のように、グロメット 2 の内周形状に対応する仮想パイプ 9 の内部を、電線束 1 の形状に対応するその中心線 8 が貫通する場合に、仮想パイプ 9 の両端部の中心点 9 a, 9 b を電線束 1 の中心線 8 が通過するよう

にして中心線 8 の形状を決定する方法も考えられる。しかしながら、仮想パイプ 9 の内部空間内で電線束 1 の中心線 8 が寸法的に余裕を持って配される（このことは、グロメット 2 の内部空間において電線束 1 が余裕をもって配置されることに対応している）ことから、電線束 1 の中心線 8 が仮想パイプ 9 の両端部の内周の中心点 9 a, 9 b を通過するとは限らない。むしろ、ドア 3 が開状態になることによって、仮想パイプ 9 及び電線束 1 の中心線 8 が図 1 1 のように湾曲すると、電線束 1 の中心線 8 がそのクランプ T の位置に制約を受けることで仮想パイプ 9 の両端部の内周の中心点 9 a, 9 b からずれた状態になることがほとんどである。このように、電線束 1 の中心線 8 を現実のものと異なる形状でモデリングして屈曲寿命の予測を行うと、実際の電線束 1 の屈曲寿命とは大幅に異なった予測値が計算されることになってしまう。

## 【 0 0 6 1 】

これらのことから、この実施の形態では、仮想パイプ 9 の存在をほとんど無視して電線束 1 の中心線 8 のモデリングを行う（以下「完全フリーモデル」と称する）。すなわち、電線束 1 の中心線 8（電線束 1 の形状に対応）及び仮想パイプ 9（グロメット 2 の形状）が一直線状に配置される場合は、図 1 2 のように、電線束 1 の中心線 8 が仮想パイプ 9 の両端部の中心点 9 a, 9 b を通過するように配置するものの、仮想パイプ 9 が湾曲した場合は、図 1 3 及び図 1 4 のように、その仮想パイプ 9 の両端部の中心点 9 a, 9 b の座標位置に拘泥せずに、電線束 1 を固定するドア 3 及びボディ 5 のクランプ T の位置にのみ電線束 1 の中心線 8 が拘束されるように形状を決定する。

## 【 0 0 6 2 】

ただし、上述のように、仮想パイプ 9 がドア 3 の開状態によって湾曲する場合に、これに対応する現実のグロメット 2 の内周部分の中間位置において電線束 1 の表面が当接して形状制約を受けることが予想され、この場合にのみ電線束 1 の形状がグロメット 2 の形状によって制約を受けることになる。このことを考慮し、この実施の形態では、後述するステップ S 0 6 において現実モデルを使用し、仮想単線 1 1（図 1 6 参照）とグロメット 2 について、ドア開閉を考慮した形状の規制を行うことになる。ただし、かかる補正は、このステップ S 0 4 において

は実行されず、後述のステップS06において実行される。

【0063】

このように、仮想パイプ9の内部に電線束1の中心線8を貫通させる場合に、仮想パイプ9の存在を無視して完全フリーモデル（すなわち、電線束1の中心線8の形状が仮想パイプ9によって影響を受けないモデル）として有限要素法により計算を行っているので、電線束1の中心線8としてワイヤーハーネスを適用した場合に、従来のように仮想パイプ9の端末中心に固定されていると仮定して計算をした場合に比べて、屈曲寿命の計算値（予測値）を現実の屈曲寿命の値に近似させることができる。

【0064】

しかも、仮想パイプ9自体の有限要素法によるコンピュータ解析処理を省略できるため、コンピュータでの計算処理負荷を大幅に低減することができる。さらに仮想パイプ9を有限要素網目によって分割する工程が必要なくなるため、大幅に労力を低減できる。

【0065】

1-4 伸屈動作解析工程

ステップS05において、上記ステップS03で作成したドアパネル4及びボディパネル6の初期形状のモデルと、上記ステップS04で作成した仮想パイプ9及び電線束1の中心線8の初期形状のモデルとを図15のように合併して、ドア開閉計算の有限要素モデルを作成する。具体的には、ステップS01で入力した固定点の取付座標を、ステップS03で作成したドアパネル4及びボディパネル6にプロットし、この固定点の取付座標にステップS04で作成した電線束1の中心線8のモデルを重ね合わせる。

【0066】

次に、ステップS06において、ドア開閉モデルに接触要素を追加する。ここでは現実モデルを用いる。ただし、電線束1の複数の電線について全てをそれぞれの構造体とすると、後段の解析計算が煩雑となるため、電線束1の総合的な物性に基づいて想定された図16のような仮想単線（仮想的線部材）11を適用する。仮想単線11は、電線束1の複数の電線における導体部の金属材料の曲げ弾

性係数と、被覆層の絶縁材料の曲げ弾性係数を、その断面積比率によって重み付け平均し、導体部の金属材料と被覆層の絶縁材料とを平均化した仮想的な材料を想定し、かかる仮想的な材料からなる1本の仮想単線11とする。そして、この仮想単線11がグロメット2により束縛された状態で接触することから、グロメット2内の仮想単線11の径 $D_x$ （ステップS01A参照）を考慮し、その空間占有率を考慮しながら、接触要素を定義して、仮想単線11の形状の補正を行う。尚、接触要素の具体的な定義方法については、一般的な有限要素モデルにおける接触要素の定義方法と変わらないため、説明の簡便のためここでは詳説しない。

## 【0067】

続いて、ステップS07では、ステップS01で入力されたドア3の開閉角度に基づいて、仮想モデルにおける電線束1の中心線8を基準に、ドア3の開状態及び閉状態のそれぞれの場合についての電線束1の中心線8の曲率半径 $R$ を計算する。

## 【0068】

そして、ステップS08において、電線束1の中心線8の長手方向において、最も伸長した場合と最も屈曲した状態での曲率変化量をステップS07で計算した曲率を基に計算する。この曲率変化量の計算結果は、曲率値ファイルと呼ばれるデータファイルのデータとしてハードディスクドライブ等の所定の記憶装置に記憶する。

## 【0069】

## ＜2. 予想寿命出力工程＞

図17は、予想寿命出力工程の処理手順を示すフローチャートである。ただし、この図17に示した処理手順に先駆けた事前段階として、電線束1の屈曲寿命と歪み変化量との相関関係を示すマスターカーブ（寿命予測曲線）を予め取得する必要がある。

## 【0070】

### 2-1 マスターカーブ（寿命予測曲線）の取得工程（事前段階）

マスターカーブ（寿命予測曲線）の取得工程においては、単一の単線について

、上記の有限要素法による曲率値計算工程での曲率半径の値に基づいて、その単線の歪み変化量を求め、この歪み変化量の値と、実験の結果得られた当該単線の屈曲寿命とを、所定のグラフ座標上でプロットし、図18のような近似的に相関曲線を求め、これをマスターカーブ（寿命予測曲線）とする。同図の横軸は絶縁層表面の歪み変化量を示し、縦軸は屈曲寿命を示している。

【0071】

ここで、単線の歪み変化量について説明する。導体線を絶縁層にて被覆してなる単線の半径を $r$ とする。単線は曲げ変形を受けており、その曲げ半径を $R$ とすると、曲率 $K$ は $K = 1/R$ で表される。このときに単線の絶縁層の表面に生じている歪み $\varepsilon$ は次の(2)式のように表される。

【0072】

【数5】

$$\begin{aligned}\varepsilon &= 2\pi(R+r) / 2\pi R - 1 \\ &= (R+r) / R - 1 \quad \cdots (2)\end{aligned}$$

【0073】

ここで、ドア3等の屈曲を受ける位置に配置される単線において、その屈曲を受ける位置で最も屈曲した状態の単線の曲げ半径を $R_1$ とし、最も伸長した状態の単線の曲げ半径を $R_2$ として、この最も屈曲した状態と最も伸長した状態との間で単線に繰り返し曲げを施したときの絶縁層表面の歪み変化量を $\Delta\varepsilon$ とすると、 $\Delta\varepsilon$ は次の(3)式にて表される。

【0074】

【数6】

$$\begin{aligned}\Delta\varepsilon &= (R_1+r) / R_1 - (R_2+r) / R_2 \\ &= r \cdot (1/R_1 - 1/R_2) \\ &= r \cdot \Delta K \quad \cdots (3)\end{aligned}$$

【0075】

なお、(3)式において $\Delta K$ は単線に繰り返し曲げを施したときの曲率の変化



量であり、上述した有限要素法による曲率値計算工程によって算出することができる。その算出された $\Delta K$ を、単線の各部位についてリストアップし、最も値の大きい $\Delta K$ を採用して、(3)式から絶縁層表面の歪み変化量 $\Delta \varepsilon$ を求める。

## 【0076】

一方、屈曲寿命については、単線に繰り返し曲げを施して、断線に至るまでの屈曲回数を実際に測定することによって求める。上述の如く、低温下における電線束等の断線は導体部を被覆する絶縁層の疲労破壊に主として支配されているものであり、屈曲寿命には温度依存性がある。従って、屈曲寿命の測定については図19のように必要な温度ごとに行っておく。同図の横軸は絶縁層表面の歪み変化量を示し、縦軸は屈曲寿命を示している。図19に示すように、温度が低下するほど屈曲性能が低下、すなわち同じ歪み変化量における屈曲寿命が短くなっている。

## 【0077】

## 2-2 電線を選択して歪み変化量を算出する工程

次に、予測対象となる電線束1内において、最も歪み変化量 $\Delta \varepsilon$ が大きいと推測される単一の電線について、その歪み変化量 $\Delta \varepsilon$ を算出する。

## 【0078】

ここでは、まず図17中のステップS11において、電線束1を単純モデル化した仮想単線11aとしてではなく、図21のように、その仮想単線11a内に実際に配置される各電線12についての形状を、上記した仮想単線11の形状に対応するように決定する。即ち、ステップS08によって出力された仮想単線11の最も屈曲した状態と最も伸長した状態の両方の形状に基づいて、仮想単線11の径 $D_x$ （ステップS01A参照）及び個々の電線12の径（(1)式中の $d_v$ ）の寸法をも考慮して、その内部で最も歪み変化量 $\Delta \varepsilon$ の大きな電線12の最も屈曲した状態と最も伸長した状態の両方の形状を決定する。この場合、図21のように、仮想単線11の外周に接して電線12が配置されているものとし、そのなかで、最も歪み変化量 $\Delta \varepsilon$ の大きな電線12が、電線束1の曲げ半径において最も内周側に位置する電線12として選ばれる。ただし、電線束1において複数の電線12同士がよじれて配置される場合があり、この場合は、どの電線12

の歪み変化量 $\Delta \varepsilon$ が最も大きくなるかを予測することが困難になる場合があるため、歪み変化量 $\Delta \varepsilon$ が最も大きな電線 1 2 が複数ある場合には、そのいずれについても歪み変化量 $\Delta \varepsilon$ を算出し、これに基づいて最大の歪み変化量 $\Delta \varepsilon$ を示す電線 1 2 を比較し、事後的に選択すればよい。

## 【 0 0 7 9 】

そして、ステップ S 1 1 の後、最大の歪み変化量 $\Delta \varepsilon$ を有すると推定される電線 1 2 において、最も伸長した状態での曲率半径 $R$ を $R_1$ とし、電線が最も屈曲した状態での曲率半径 $R$ を $R_2$ とし、電線 1 2 の上記の有限要素法による曲率値計算工程に従って、曲率変化量 $\Delta K$ を曲率値ファイルから読み込む。

## 【 0 0 8 0 】

次に、ステップ S 1 2 において、電線 1 2 の径を $r$ として、選択された電線 1 2 の曲率値（曲率半径の値）に基づいて、その歪み変化量 $\Delta \varepsilon$ を上記した（3）式に従って計算する。

## 【 0 0 8 1 】

続いて、ステップ S 1 3 において、ステップ S 1 2 で求めた歪み変化量 $\Delta \varepsilon$ が最大となる選択された電線 1 2 の点を選ぶ。

## 【 0 0 8 2 】

## 2 - 3 マスターカーブ（寿命予測曲線）への照合工程

そして、ステップ S 1 4 において、ステップ S 1 3 で選択した最大の歪み変化量 $\Delta \varepsilon$ を、図 1 9 に示したマスターカーブ（寿命予測曲線）に当てはめ、そのときの縦軸の値を屈曲寿命の予測値とする。ここで、選択された電線 1 2 の屈曲寿命と歪み変化量との間の相関関係自体は電線 1 2 の径に依存しない。したがって、選択された電線 1 2 の歪み変化量を、上述した有限要素法による曲率値計算工程で算出することができれば、選択された電線 1 2 の製品条件によらず、その屈曲寿命を正確に予測することができる。なお、このことは本発明にかかる選択された電線 1 2 の屈曲寿命予測方法が選択された電線 1 2 の製品条件を全く考慮していないことを意味しているのではなく、予測対象としている選択された電線 1 2 の歪み変化量を（3）式に従って算出する段階において、その径 $r$ を考慮している。このようにすれば、選択された電線 1 2 の製品条件によらず、その屈曲寿

命を正確に予測することができるため、ワイヤーハーネスの設計等にその予測結果を反映することによって事前に机上検討が可能となり、最適設計、開発期間の短縮を図ることができる。また、屈曲寿命測定のために実際に行う試験を削減することができる。

## 【0083】

ところで、複数の電線が束になった電線束1の応力を有限要素法で解析する場合は、本来的には個々の電線をそれぞれ別個の有限要素として三次元的に解析を行うのが原則であるが、この実施の形態では個々の電線を別個の構造体として三次元的にそれぞれモデリングするのではなく、上述の曲率値計算工程において、擬似的に仮想的な単線（仮想単線11）に単純化して一本の有限要素として取り扱い、これによりその形状が決定された後に、その内部のうちの最も歪み変化量 $\Delta \varepsilon$ の大きくなる位置にある単一の電線12を選択し、この選択された電線12についてのみ、マスターカーブに照らして屈曲寿命予測を行っている。このように、初期形状と最終形状を計算するために、電線束1の実際の構造に基づく物性ではなく仮想単線11の相当直径 $D_x$ （ステップS01A参照）及び曲げ剛性をモデリングして演算することで、電線束1の物性を大幅に単純化して演算することができる。そして、その結果として現実の屈曲寿命に極めて近似した屈曲寿命の予測値を得ることができる。したがって、コンピュータを用いた有限要素法（マトリックス応力解析法）で屈曲寿命の予測値を演算する際に、コンピュータの負荷を低減でき、素早く予測値を収束させることが可能となる。

## 【0084】

また、上述の曲率値計算工程において、仮想パイプ9の内部を貫通する電線束1の中心線8の形状を決定する場合に、仮想パイプ9の存在を無視して完全フリーモデル（すなわち、電線束1の中心線8の形状が仮想パイプ9によって影響を受けないモデル）として有限要素法により計算を行っているので、電線束1の中心線8としてワイヤーハーネスを適用した場合に、従来のように仮想パイプ9の端末中心に固定されていると仮定して計算をした場合に比べて、屈曲寿命の計算値（予測値）を現実の屈曲寿命の値に近似させることができる。

## 【0085】

具体的に、図 2 0 は所定の単線を用いてマスターカーブ（寿命予測曲線）MC を設定しておき、上記した屈曲寿命予測方法で電線束 1 の屈曲寿命予測を行った例である。

## 【 0 0 8 6 】

完全フリーモデルを用いずに、仮想パイプ 9 の端末中心を電線束 1 の中心線 8 が固定的に通過すると仮定して歪み変化量  $\Delta \varepsilon$  を計算をし、且つ実際の屈曲寿命実験を行って断線に至るまでの伸屈運動の回数をプロットした場合、点 P 1 の結果を得た。しかしながら、この点 P 1 は、マスターカーブ MC から大きくずれた点にプロットされていることが解る。

## 【 0 0 8 7 】

これに対して、上述のような完全フリーモデルを適用して歪み変化量  $\Delta \varepsilon$  を計算をし、且つ実際の屈曲寿命実験を行って断線に至るまでの伸屈運動の回数をプロットした場合、点 P 2 の結果を得た。この点 P 2 は、マスターカーブ MC に合致しており、この実施の形態の屈曲寿命予測方法の予測精度が極めて高いことを証明している。

## 【 0 0 8 8 】

しかも、仮想パイプ 9 を用いることで、コンピュータ解析処理を簡略化できるため、コンピュータでの計算処理負荷を大幅に低減することができる。さらに仮想パイプ 9 を有限要素網目によって分割する工程が必要なくなるため、大幅に労力を低減できる。

## 【 0 0 8 9 】

尚、上記実施の形態では、ステップ S 1 1 ~ S 1 5 において、電線束 1（仮想単線 1 1 a）中で最も歪み変化量  $\Delta \varepsilon$  の大きな単一の電線 1 2 について寿命予測を行っていたが、これに代えて、単純に仮想単線 1 1（図 1 6 参照）の表面の屈曲寿命予測を行い、これを電線 1 2 の屈曲寿命予測としてもよい。この場合、（3）式中の径  $r$  は、仮想単線 1 1 の径  $D_x$ （即ち、電線束 1 の径：ステップ S 0 1 A 参照）を適用して計算すればよい。

## 【 0 0 9 0 】

{他の実施の形態}

上記一の実施の形態では、低温下において、内部の導体部が破断するよりも先に、被覆部としての絶縁層にクラックが生じ、このクラックが原因となって応力が局部的にかかり、その結果内部の導体部が断線する場合の屈曲寿命予測方法について説明していた。

#### 【0091】

しかしながら、常温である場合においては、被覆材となる絶縁層として温度依存性の少ないハロゲンフリーの樹脂材やPE等を使用する場合や、温度依存性のあるPVC等の絶縁層を有していても、これらの電線等を繰り返し屈曲していくと、絶縁層の疲労破壊によりクラックが生じる以前に、内部の芯線となる導体部が断線することがある。このことから、常温下においては、電線等の断線は必ずしも導体部を被覆する絶縁層の疲労破壊に起因する場合ばかりでなく、むしろ、電線等の屈曲寿命は、内部の各素線の屈曲寿命に等しいと考えることができる。

#### 【0092】

この場合には、マスターカーブとして導体部（例えば銅）及び被覆材と同一材料の電線について予めマスターカーブを求めておき、電線束1のうちの最も歪み変化量 $\Delta \varepsilon$ の大きな電線12中の導体部について、その歪み変化量 $\Delta \varepsilon$ を有限要素法により求め、その結果をマスターカーブに照合して導体部の屈曲寿命予測を行えばよい。

#### 【0093】

この場合においても、電線束1を単線モデル化した仮想単線11を想定し、上記の一の実施の形態のステップS01～S08と同様にして仮想単線11の形状を決定した後、歪み変化量 $\Delta \varepsilon$ が最大となるいずれかの電線12を選択し、その内部の導体部の形状を、仮想単線11の形状に応じて決定した後、当該導体部のみの屈曲寿命予測を行えばよい。この場合における(3)式中の径 $r$ は、導体部の径を適用する。

#### 【0094】

このようにすれば、上記の一の実施の形態の低温環境下における電線束1の屈曲寿命だけでなく、常温環境下における電線束1の屈曲寿命をも容易に予測することができる。

## 【 0 0 9 5 】

{さらに他の実施の形態}

上記した一の実施の形態では、ヒンジ部付近に設置されるグロメット2内を電線束1が貫通する場合に、ドア3の開閉動作に伴って電線束1が伸屈変化する際の電線束1の屈曲寿命を予測する場合を説明したが、上記の基本的な手法は、グロメット等の外装品を考慮しない場合にも適用できる。

## 【 0 0 9 6 】

この場合、図22のステップS21（図3中のステップS01に相当）のように、まずワイヤーハーネスの取り付け位置（クランプ位置）と、ワイヤーハーネスの寸法（電線束の直径及び長さ）と、電線束の端点の運動方向及び運動量といった各種パラメータを入力する。これらのパラメータを入力することで、解析モデルを作成するためのプロシージャファイルが作成される。このプロシージャファイルは、パラメータだけでなく、三次元形状を作成するためのプログラム上の各種コマンドラインが全て含まれる。このプロシージャファイルに、ワイヤーハーネスの材料物性を含めておくことで、各パラメータの値がプロシージャファイルに全て含まれることになる。

## 【 0 0 9 7 】

次に、ステップS22において、ステップS21で作成されたプロシージャファイルを実行させる。このように所定の三次元形状作成アプリケーションプログラムにおいてプロシージャファイルを実行することで、当該三次元形状作成アプリケーションプログラムにおいて電線束の初期形状モデル（三次元形状モデル）が自動的に作成される。しかる後、ステップS23において、電線束の初期形状について、取り付け位置及び取り付け形状を計算する。

## 【 0 0 9 8 】

次のステップS24において、計算が正常に終了したか否かを判断する。正常終了しない場合は、正常終了しない原因を調べ、エディタや専用ソフトウェアプログラムとを用いて、計算すべきモデルのプロシージャファイル（パラメータやコマンドライン）の修正を行って、ステップS21～ステップS24の作業を繰り返し実行する。

## 【 0 0 9 9 】

しかる後、ステップ S 2 5 に進み、初期形状の計算結果を読み込みんで、曲率計算の計算用ファイルを作成する（ステップ S 2 6）。

## 【 0 1 0 0 】

このステップ S 2 6 で作成された計算用ファイル（ドア開閉モデル及び接触定義）を用いて、ステップ S 2 7 でドア開閉に伴う曲率計算を行う。このときに出力される数値としては、電線束の中央位置での各節点の曲率が採用される。かかる数値（曲率）を一旦ファイルに保存し、後処理で歪み変化量（前述参照）を計算する。ここで計算が正常終了しない場合は、計算の条件（例えばステップ数等）を変更して再計算さんを繰り返す（ステップ S 2 8）。

## 【 0 1 0 1 】

そして、ステップ S 2 9 において、ステップ S 2 7 で計算された各節点の曲率及び各ステップの曲率の値を曲率ファイルとして保存する。これらの曲率の値は、電線束の中央位置での値が採用される。この曲率ファイルに基づいて、上記の実施の形態と同様にして電線束の寿命を予測するための歪み変化量を計算する。

## 【 0 1 0 2 】

曲率の値に基づいて寿命を予測する方法としては、図 1 7 で説明した手順と同手順で行えばよい。ここで得られた寿命の値のうち、最も寿命が短い値を検索すれば、その値がワイヤーハーネスの予想屈曲寿命となる。

## 【 0 1 0 3 】

このように、外装品を考慮しない場合であっても、ワイヤーハーネス（電線束）を屈曲したときの形状を C A E で計算し、得られた電線束の歪み値に基づいて歪み変化量を計算し、これに基づいてワイヤーハーネスの屈曲寿命を容易に計算できる。したがって、ワイヤーハーネスが断線に至るまでの屈曲回数を C A E で計算することができ、机上でワイヤーハーネスの寿命を容易に予測できる。したがって、評価試験の削減を期待できる。

## 【 0 1 0 4 】

また、この実施の形態のように、プロシージャファイルを用いて各種パラメータとコマンドラインを予め様々なモデルについて定義しておけば、その途中での

パラメータの修正が容易である。さらに予め多くのプロシージャファイルを作成し、これに基づいて寿命予測を行うことで、多くの寿命予測を行う際に便利である。

#### 【0105】

以上この発明の各実施例について説明したが、この発明の範囲は上記実施例に限られるものではなく、添付された請求の範囲によって規定される。

#### 【0106】

##### 【発明の効果】

請求項1、請求項2または請求項4及び請求項9に記載の発明によれば、屈曲寿命予測工程において、個々の電線を別個の構造体として三次元的にそれぞれモデリングするのではなく、擬似的に仮想的な単線に単純化して全体的な形状を決定するようにしているので、初期形状と最終形状を計算するために、電線束の実際の構造に基づく物性ではなく仮想単線の相当直径及び曲げ弾性をモデリングして演算することで、電線束の物性を大幅に単純化して演算することができる。そして、その結果として現実の屈曲寿命に極めて近似した屈曲寿命の予測値を得ることができる。したがって、コンピュータを用いた有限要素法（マトリックス応力解析法）で屈曲寿命の予測値を演算する際に、コンピュータの負荷を低減でき、素早く予測値を収束させることが可能となる。

#### 【0107】

そして、適用対象の全体的な設計構想を行い（適用対象設計構想工程）、適用対象に適合するようにワイヤーハーネスの設計構想を行って（ワイヤーハーネス設計構想工程）、その後に、屈曲寿命予測工程を即座に実行して屈曲寿命予測を行うことができるので、従来のようにワイヤーハーネスについての試作品の制作及び屈曲評価試験を経て評価結果を得るのに例えば2～3ヶ月という多大な時間を要していた工程を、本発明を実施することにより例えば2～3日あるいはそれ以下で評価結果が得られるというように大幅に省略することができる。また、請求項3のように、適用対象設計局または電線製造局において、屈曲寿命予測工程をコンピュータを用いて容易に屈曲寿命予測を行うことができるので、ワイヤーハーネスの設計開発期間、ひいては適用対象全体の設計開発期間の短縮を図るこ



とが可能となる。

【0108】

また、請求項1及び請求項9に記載の発明によれば、電線束、保護管及び外部構造体のそれぞれの初期形状を決定する際に、まず電線束の初期形状を、電線束の中心線の初期形状に代替させ、さらに保護管の初期形状を、保護管の電線束に対する余裕空間の余裕寸法のみを内径とする仮想パイプの初期形状に代替させ、当該仮想パイプ9の両端部において電線束の中心線が拘束されないように電線束の中心線の初期形状を決定しているので、仮想パイプの両端部の例えば中心点を電線束の中心線が通るように電線束の形状を拘束する場合に比べて、現実の電線束の形状を反映した曲率変化を導くことが可能となり、屈曲寿命の予測精度が向上する。

【0109】

請求項5及び請求項9に記載の発明によれば、1本の単線に繰り返し曲げを施して、予めその歪み変化量と屈曲寿命の実測値との相関関係を得た上で、予測対象となる電線束のうち最も歪み変化量の大きな電線、または電線束を単線モデル化した仮想単線について、その歪み変化量を有限要素法によって算出し、その算出された予測対象電線束の歪み変化量を上記相関関係に照合することによって予測対象電線束の屈曲寿命を予測しているため、電線束の製品条件によらずその屈曲寿命を正確に予測することができる。

【0110】

請求項6及び請求項9に記載の発明によれば、ワイヤーハーネスを構成する複数種類の電線の径及び個数に基づいて所定の演算式（請求項8）によりワイヤーハーネスの径を演算し、このワイヤーハーネスの径に基づいてワイヤーハーネスの初期形状を決定するので、操作者は電線の径及び個数をコンピュータに入力するだけでワイヤーハーネスの初期形状を得ることができる。したがって、適用対象設計局または電線製造局において、屈曲寿命予測工程をコンピュータを用いて容易に屈曲寿命予測を行うことができるので、ワイヤーハーネスの設計開発期間、ひいては適用対象全体の設計開発期間の短縮を図ることが可能となる。

【0111】

請求項 7 及び請求項 9 に記載の発明によれば、ワイヤーハーネスを構成する複数種類の電線の径及び個数に基づいて所定の演算式（請求項 8）によりワイヤーハーネスの径を演算し、保護管の内径から上記のワイヤーハーネスの径を減算して余裕寸法を求めるようにしているので、操作者は電線の径及び個数をコンピュータに入力するだけで余裕寸法を得ることができる。したがって、適用対象設計局または電線製造局において、屈曲寿命予測工程をコンピュータを用いて容易に屈曲寿命予測を行うことができるので、ワイヤーハーネスの設計開発期間、ひいては適用対象全体の設計開発期間の短縮を図ることが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

この発明の一の実施の形態に係るワイヤーハーネス設計方法の処理手順を示すフローチャートである。

【図 2】

自動車のドア部分に使用されているワイヤーハーネスを示す図である。

【図 3】

この発明の一の実施の形態に係る屈曲寿命予測工程における曲率値計算工程を示すフローチャートである。

【図 4】

ドア閉状態である自動車のドアパネル及びボディパネルと電線束の中心線の各座標位置を特定した状態を示す図である。

【図 5】

ドア開状態である自動車のドアパネル及びボディパネルと電線束の中心線の各座標位置を特定した状態を示す図である。

【図 6】

電線束及びグロメットを示す断面図である。

【図 7】

電線束の中心線及び仮想パイプを示す断面図である。

【図 8】

電線束の中心線及び仮想パイプを仮想空間上に表示した様子を示す図である。

【図 9】

ドア及びボディを仮想空間上に表示した様子を示す図である。

【図 1 0】

電線束の中心線及び仮想パイプの形状をドア及びボディに適合させた状態を示す図である。

【図 1 1】

提案例における仮想パイプと電線束の中心線との位置関係を示す図である。

【図 1 2】

提案例における仮想パイプと電線束の中心線との位置関係を示す図である。

【図 1 3】

この発明の一の実施の形態における仮想パイプと電線束の中心線との位置関係を示す図である。

【図 1 4】

この発明の一の実施の形態における仮想パイプと電線束の中心線との位置関係を示す図である。

【図 1 5】

電線束の中心線及び仮想パイプをドア及びボディに併合した状態を示す図である。

【図 1 6】

電線の歪み変化量について説明するための図である。

【図 1 7】

この発明の一の実施の形態に係る電線束の屈曲寿命予測方法における予想寿命出力工程を示すフローチャートである。

【図 1 8】

マスターカーブを示す図である。

【図 1 9】

マスターカーブを温度毎に取得した状態を示す図である。

【図 2 0】

曲率値計算工程で算出した曲率半径に基づき導かれた歪み変化量を、予想寿命

出力工程においてマスターカーブに当てはめた様子を示す図である。

【図 2 1】

一の実施の形態において、電線束を分割して歪み変化量を解析する様子を示す図である。

【図 2 2】

さらに他の実施の形態に係る屈曲寿命予測工程における曲率値計算工程を示すフローチャートである。

【図 2 3】

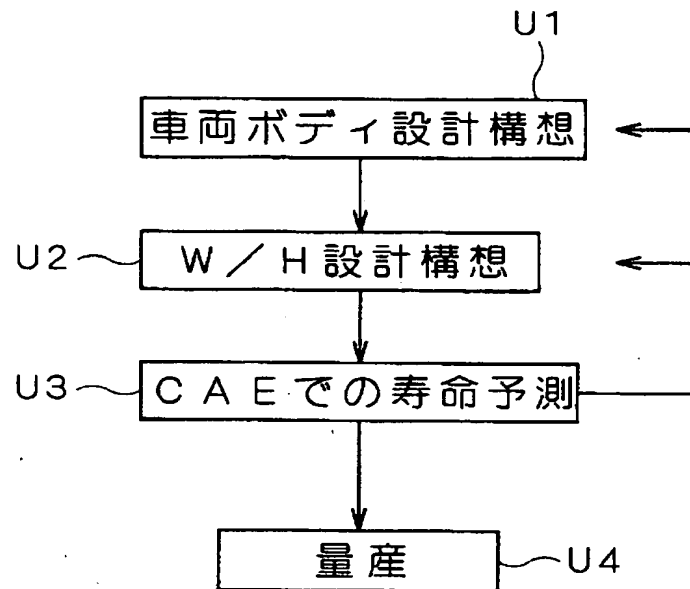
従来のワイヤーハーネス設計方法を示すフローチャートである。

【符号の説明】

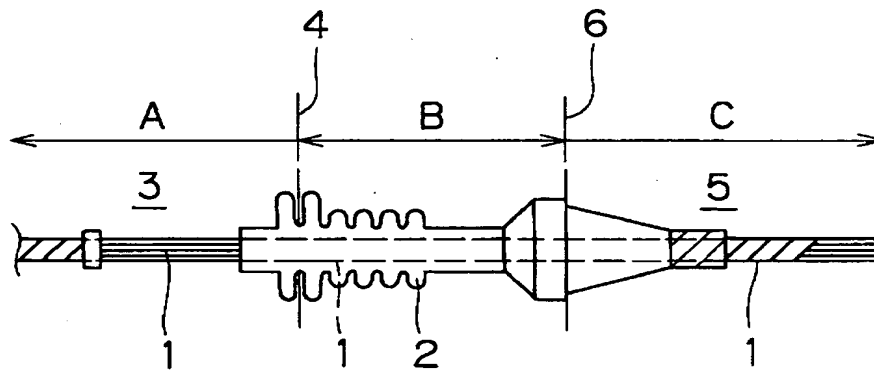
- 1 1, 1 1 a 仮想単線
- 2 グロメット
- 3 ドア
- 4 ドアパネル
- 5 ボディ
- 6 ボディパネル
- 8 中心線
- 9 仮想パイプ

【書類名】 図面

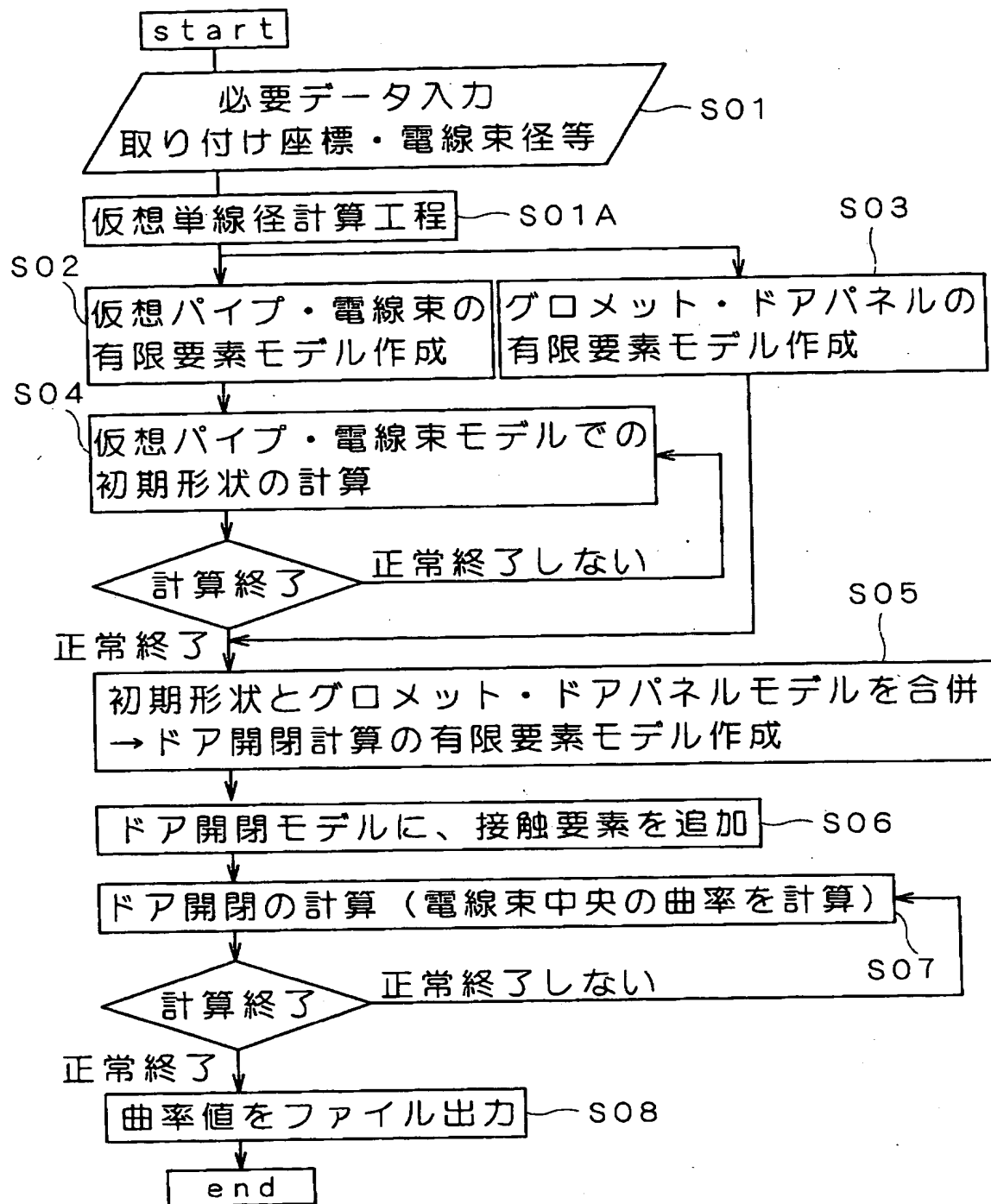
【図 1】



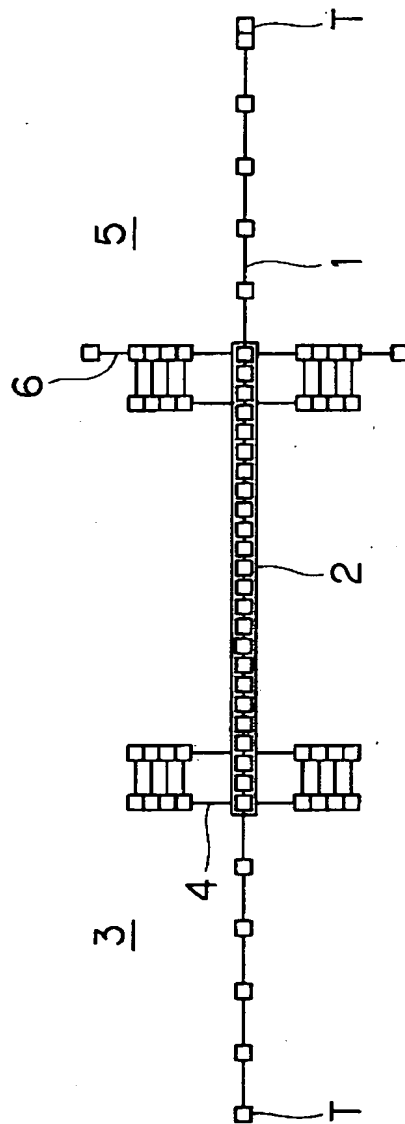
【図 2】



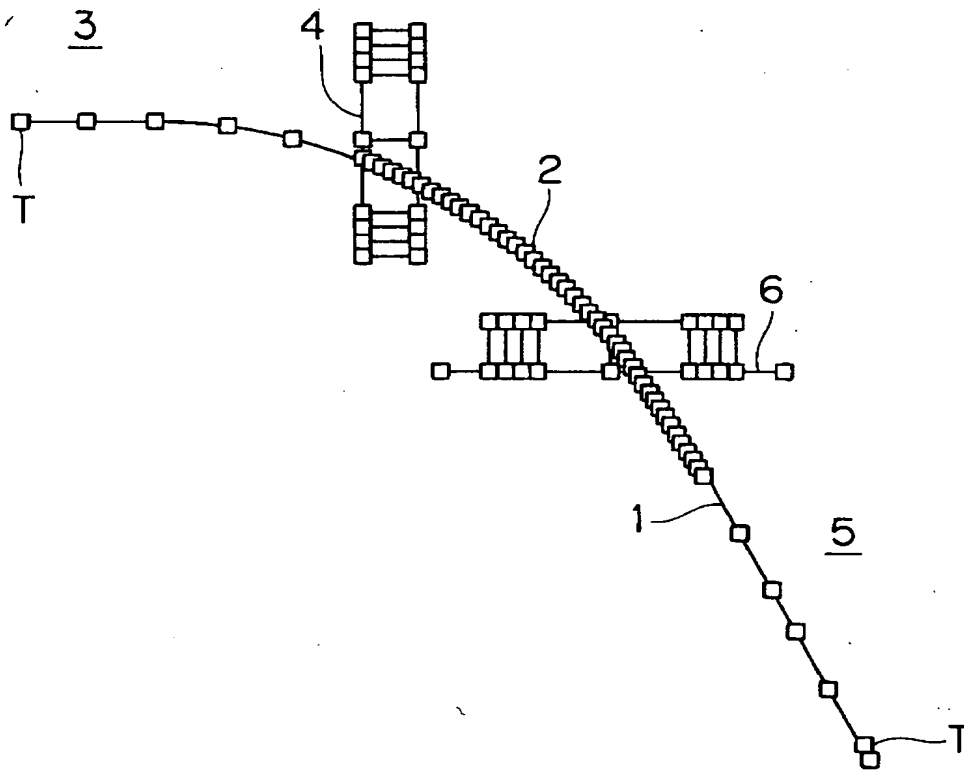
【図3】



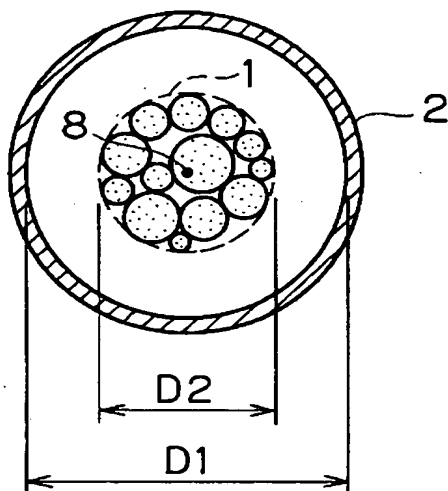
【図4】



【図 5】

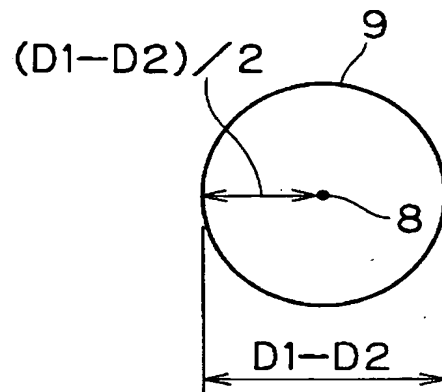


【図 6】

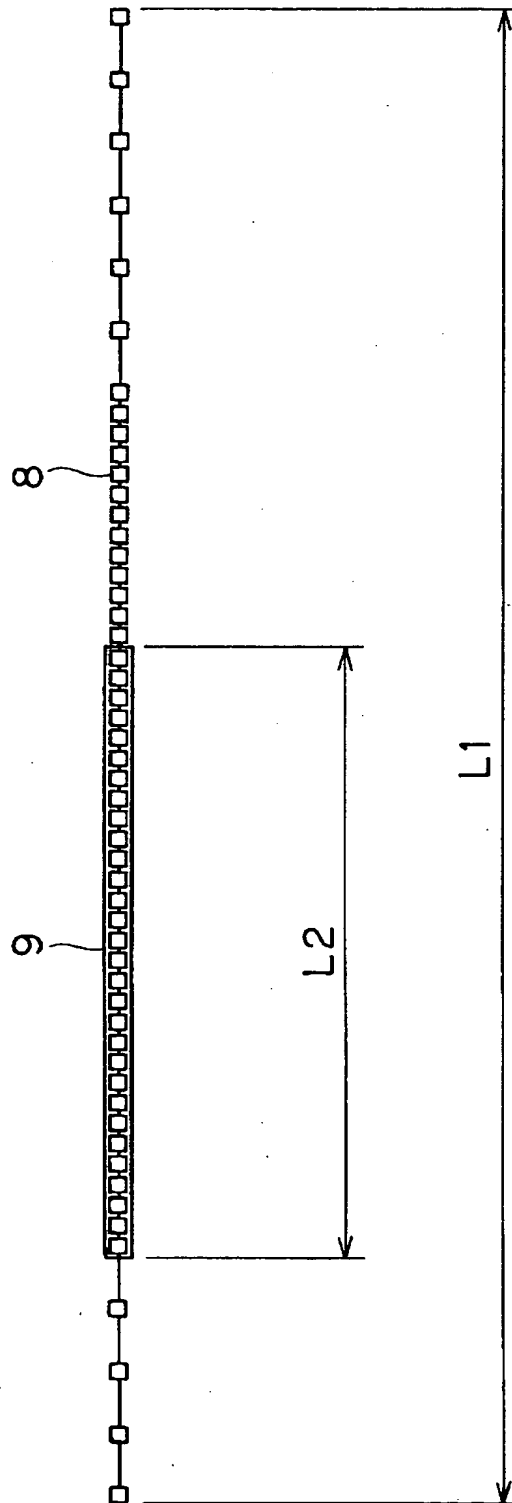




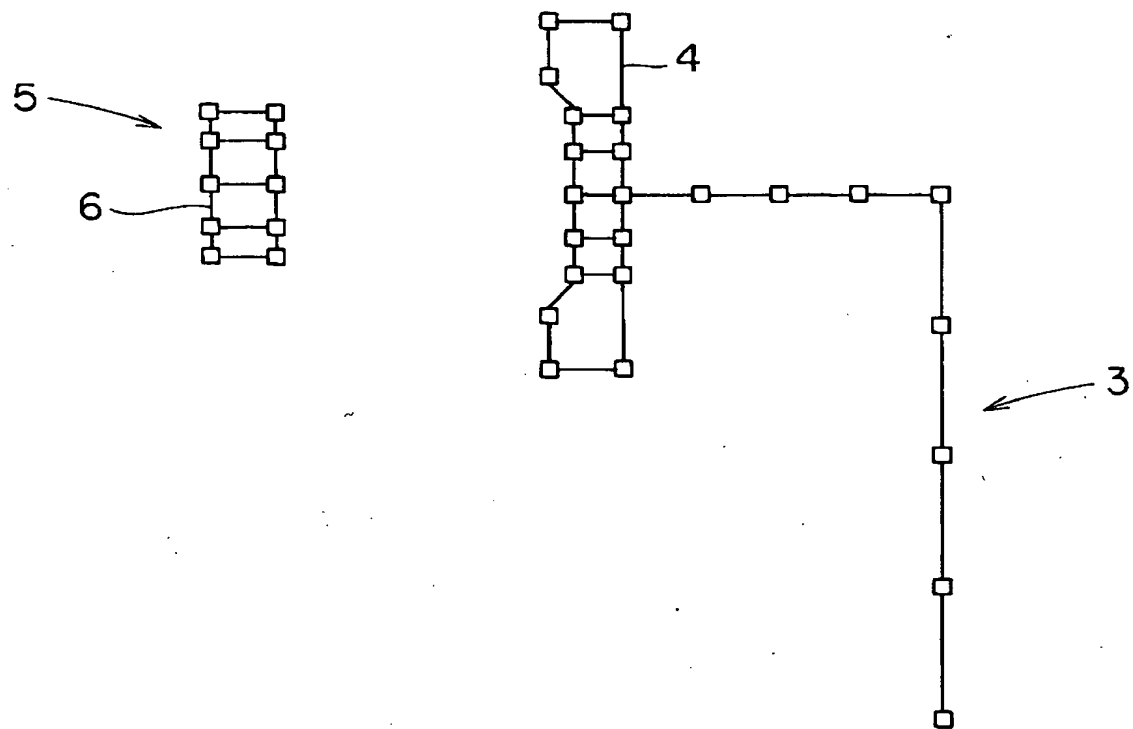
【図 7】



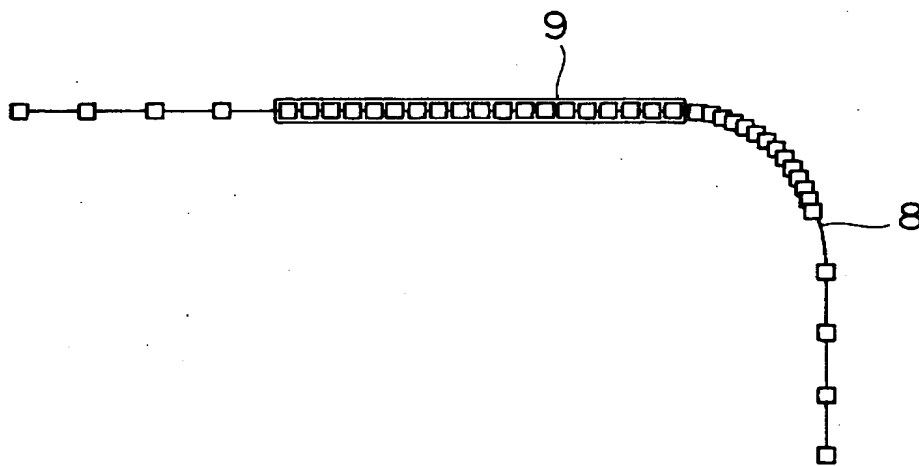
【図 8】



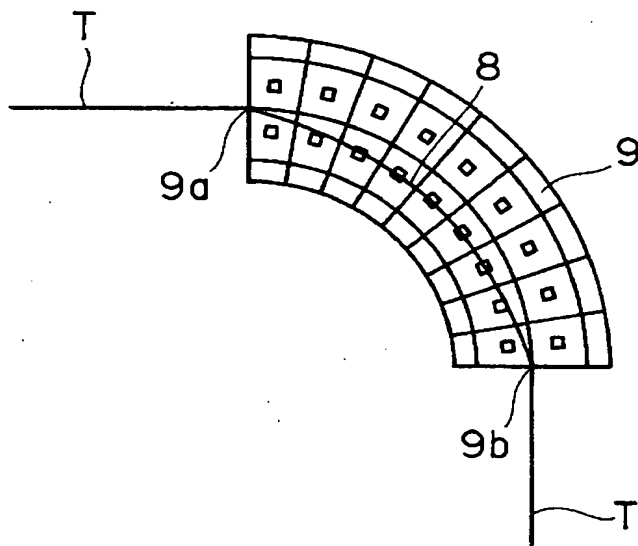
【図 9】



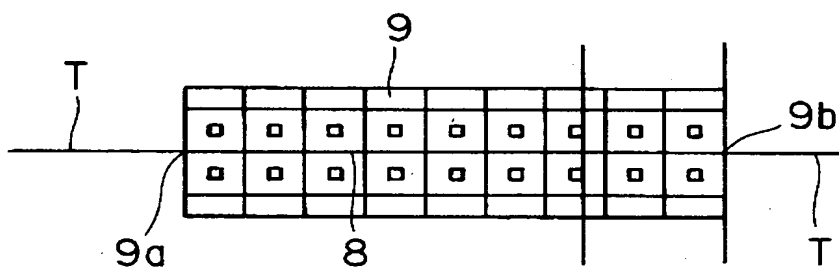
【図 10】



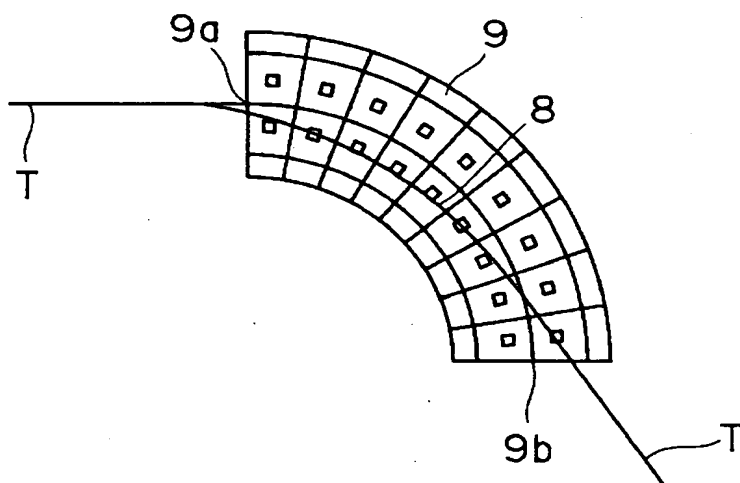
【図 1 1】



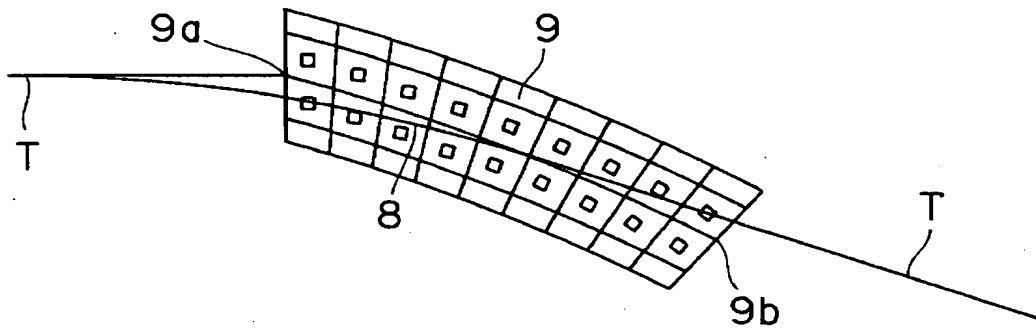
【図 1 2】



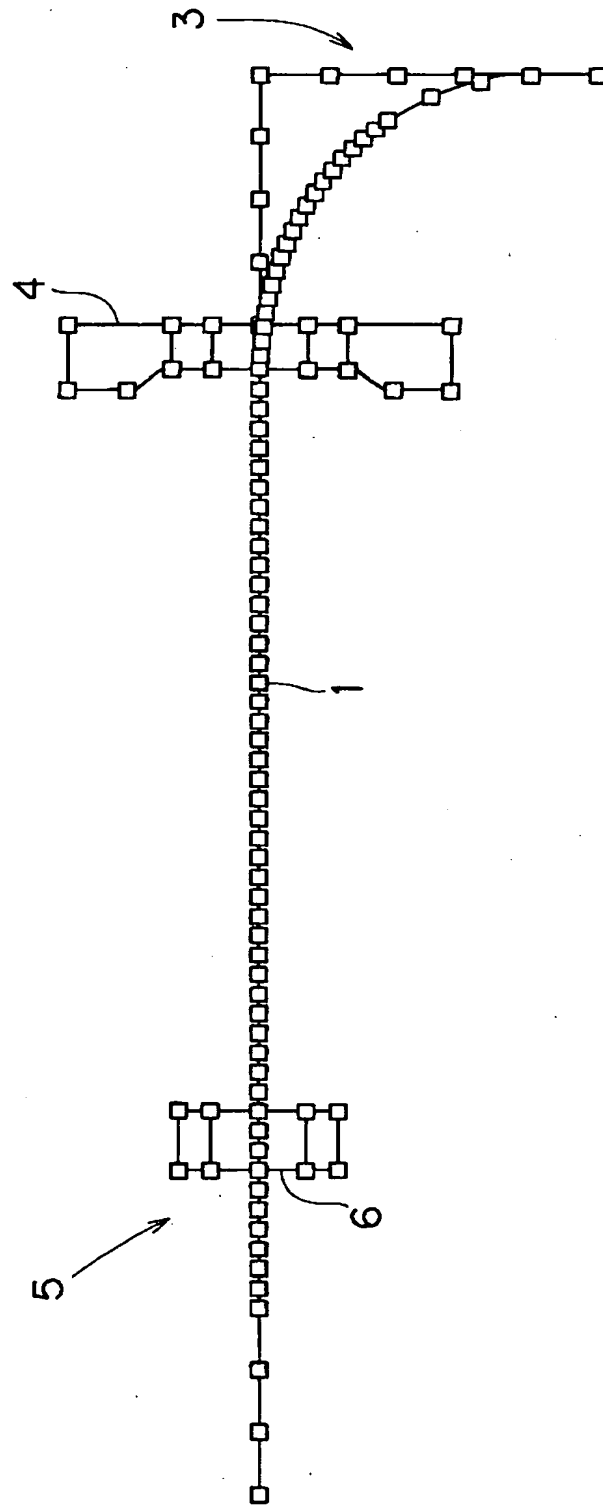
【図 1 3】



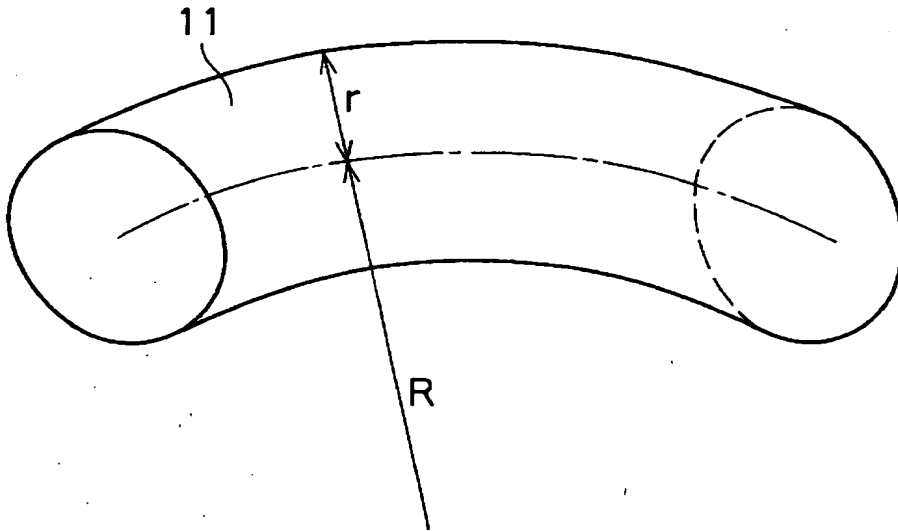
【図14】



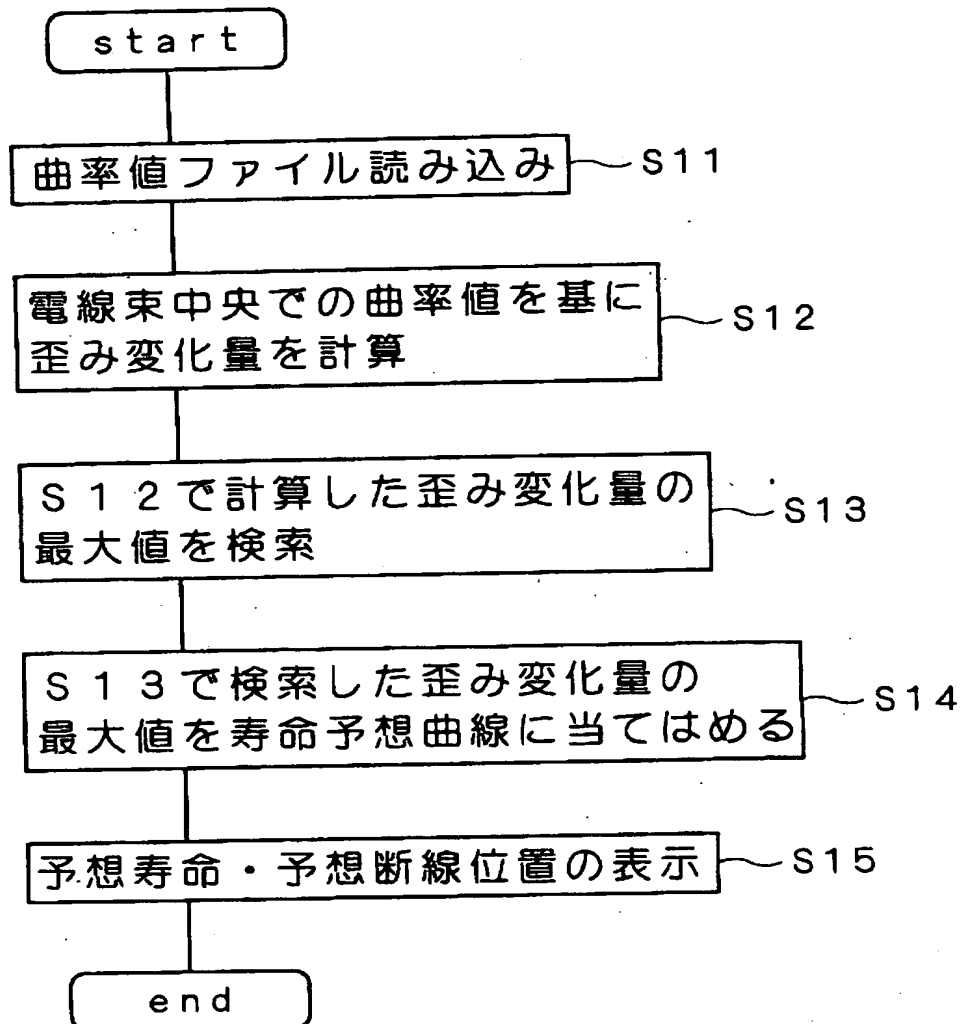
【図15】



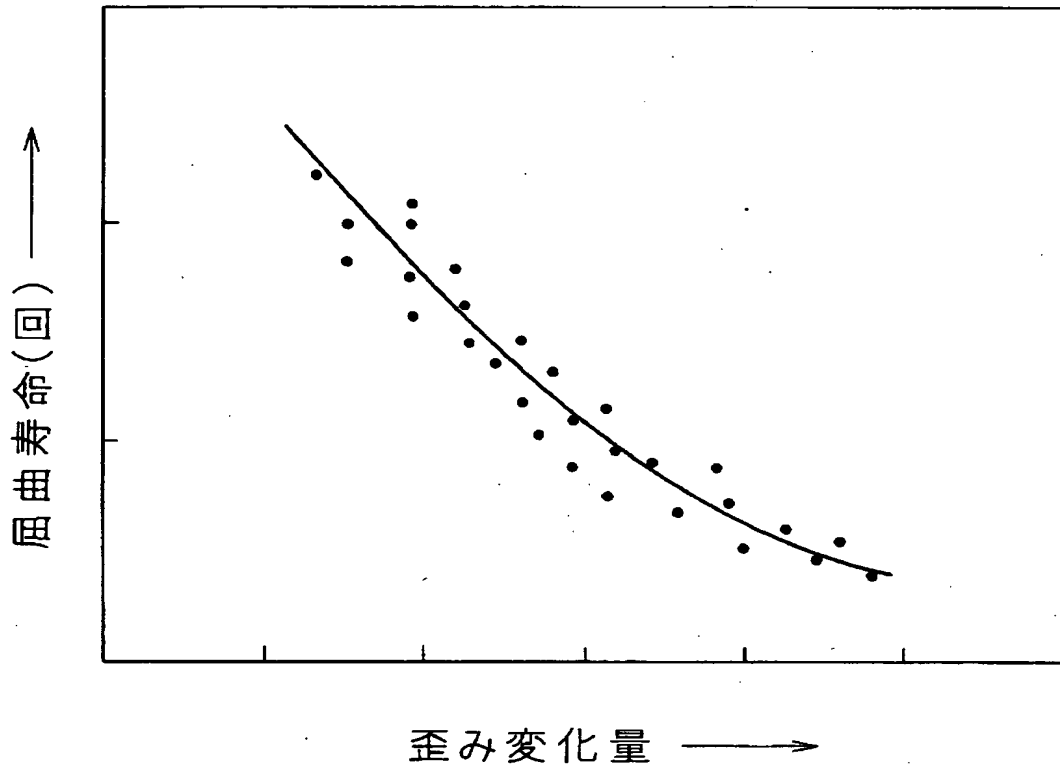
【図 16】



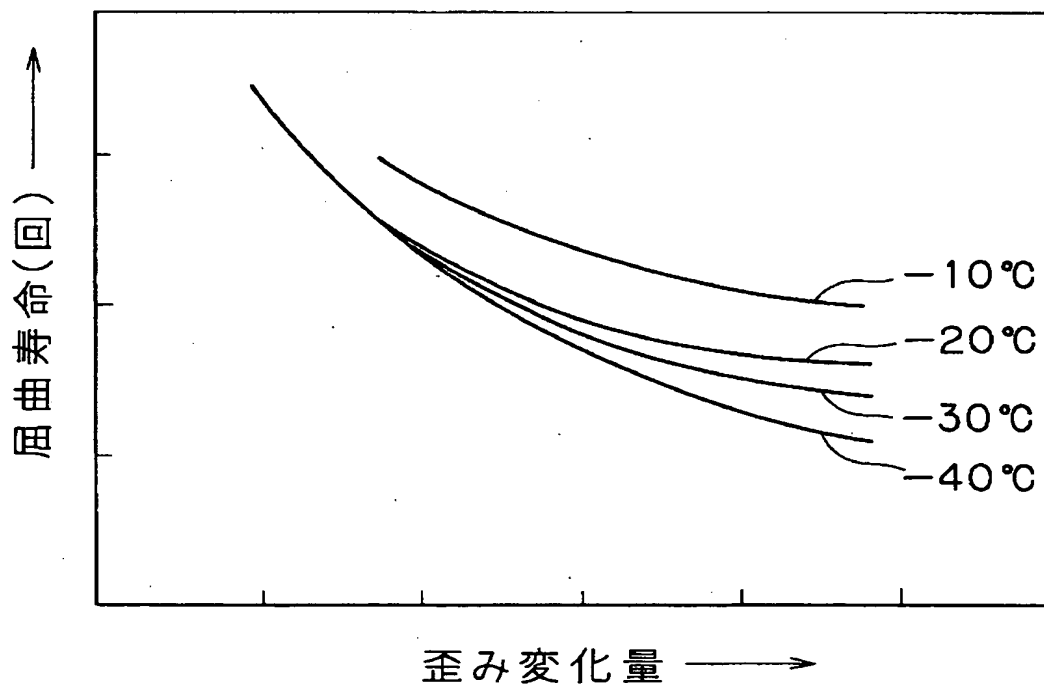
【図 17】



【図18】

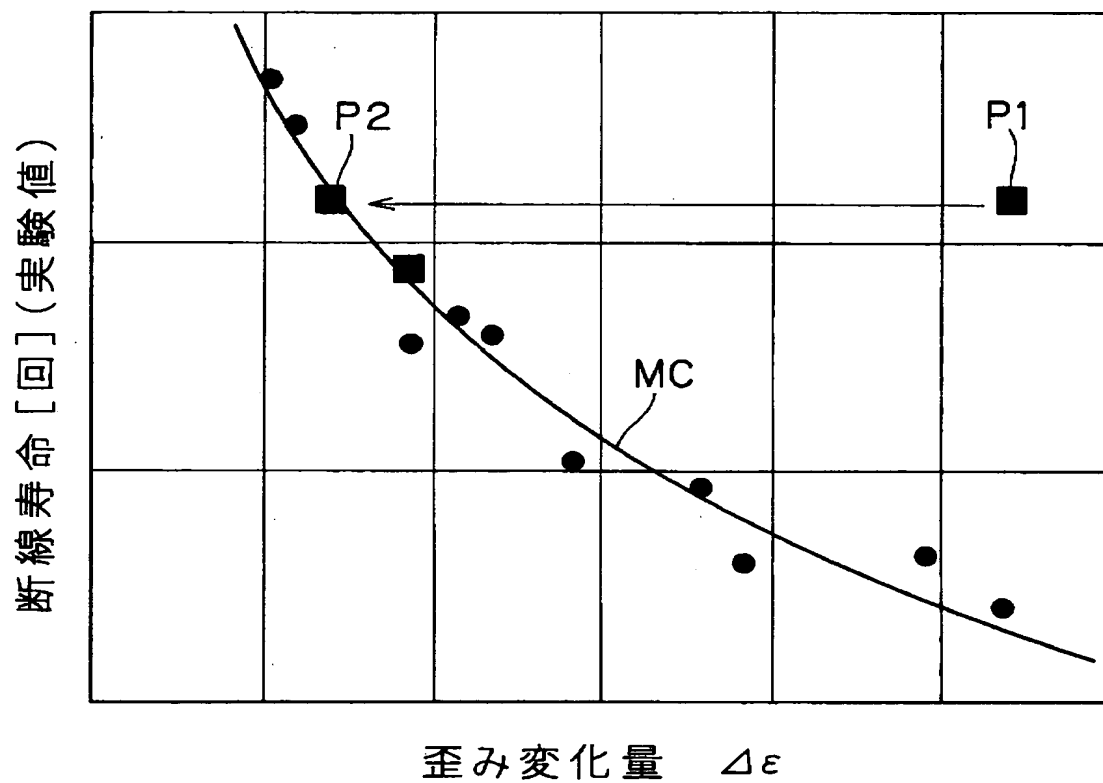


【図19】

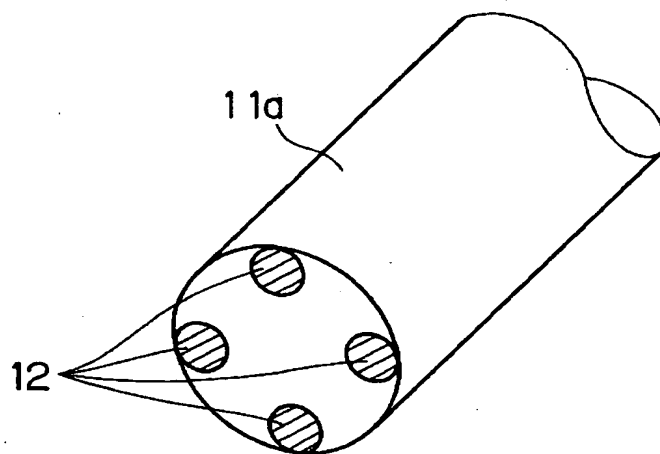




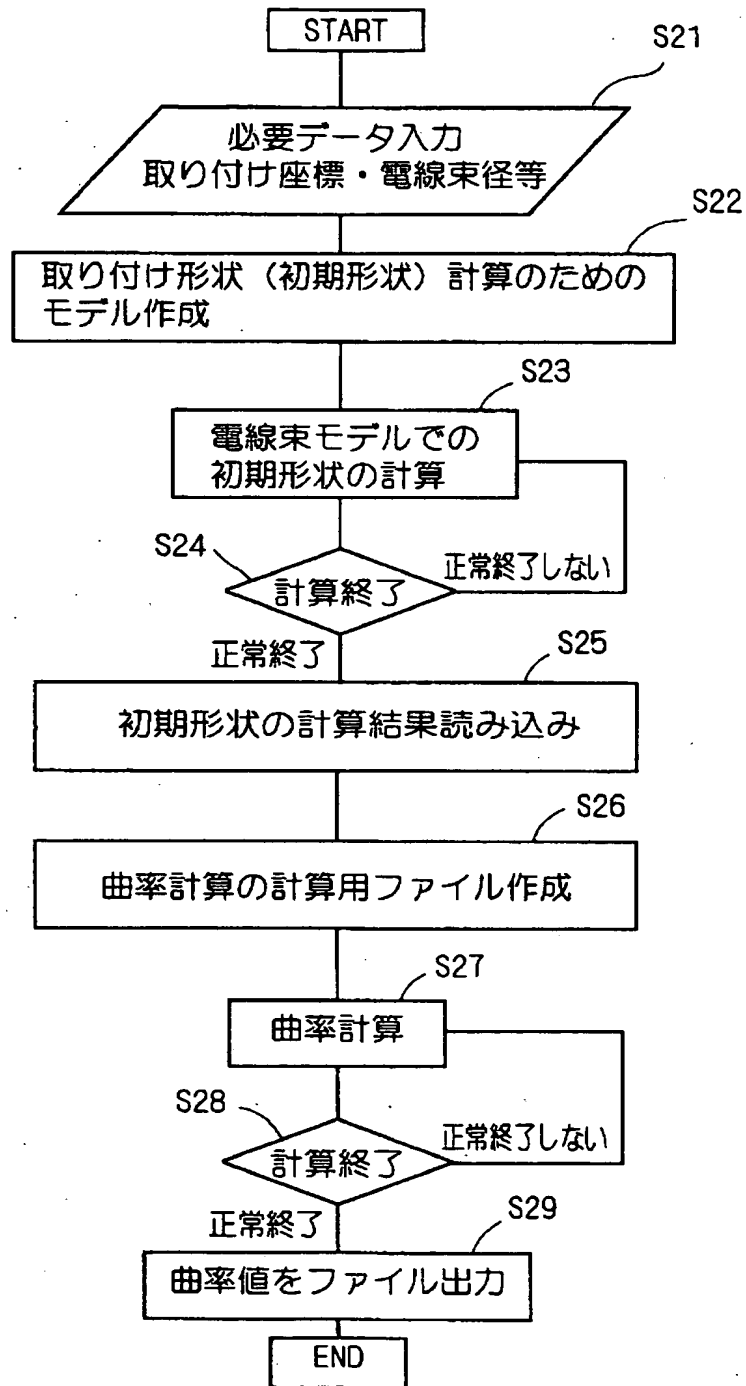
【図20】



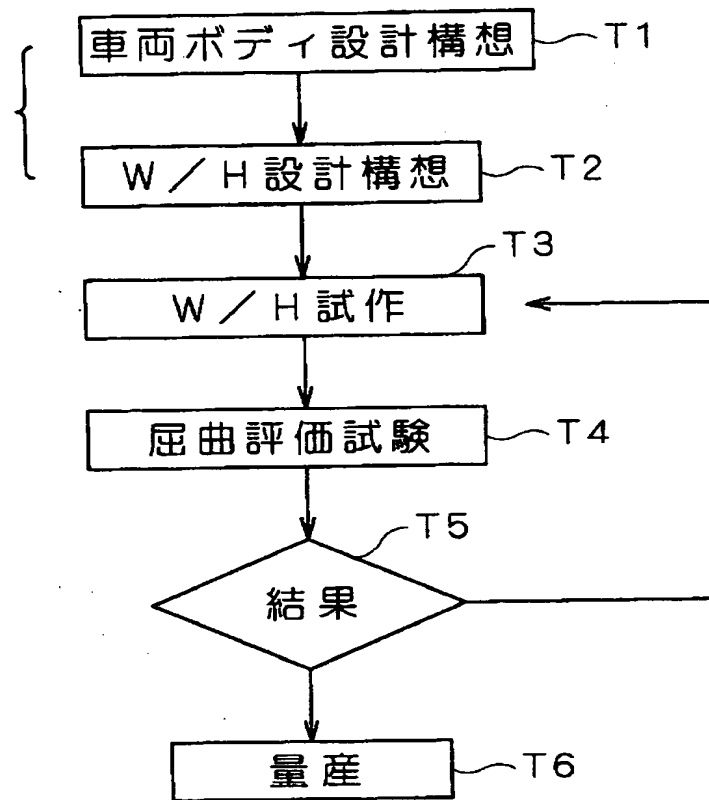
【図21】



【図 2 2】



【図 23】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 自動車等の適用対象のワイヤーハーネスの配策設計期間を短縮化する。

【解決手段】 各電線の径及び個数を入力し、経験的に導き出された所定の演算式で電線束をモデル化した仮想電線の径を演算し、これに基づいて仮想電線の屈曲寿命予測を行う。容易に屈曲寿命予測でき、適用対象及びその配策ワイヤーハーネスの設計構想後、即座に屈曲寿命予測して結果を得ることができるので、開発期間を短縮できる。

【選択図】 図 1

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000183406]

1. 変更年月日	1990年 8月24日
[変更理由]	新規登録
住 所	三重県四日市市西末広町1番14号
氏 名	住友電装株式会社

出 願 人 履 歷 情 報

識別番号 [000002130]

1. 変更年月日 1990年 8月29日  
[変更理由] 新規登録  
住 所 大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号  
氏 名 住友電気工業株式会社